

Universitat d'Alacant

Esta tesis doctoral contiene un índice de la misma.

Universidad de Alicante

Existen asimismo botones de retorno al índice al principio y final de cada uno de los capítulos.

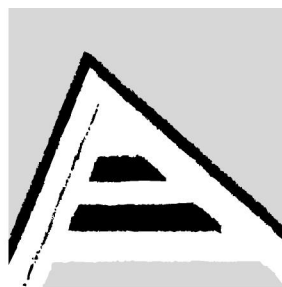
[Ir directamente al índice](#)

Para una correcta visualización del texto es necesaria la versión de [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriores

Aquesta tesi doctoral conté un índex que enllaça a cadascun dels capítols. Existeixen així mateix botons de retorn a l'índex al principi i final de cadascun dels capítols .

[Anar directament a l'índex](#)

Per a una correcta visualització del text és necessària la versió d' [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriors.



PROGRAMA DE DOCTORADO
"DESARROLLO SOSTENIBLE: MANEJO DE SUELOS"
UNIVERSIDAD DE ALICANTE
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

TÍTULO: El potencial acumulador de Cadmio y Plomo de la *Nicotiana tabacum* L variedad "Criollo 98" cultivada en suelos y sustrato artificial en San Juan y Martínez, Pinar del Río, Cuba.

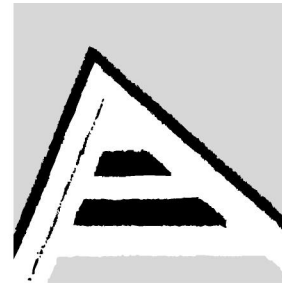
Autor: José Manuel Pérez Meléndez *Universidad de Pinar del Río*

Director de tesis: Dr. Dagoberto Paz *Universidad de Pinar del Río*

Tutor: Dr. Antonio Escarré *Universidad de Alicante*

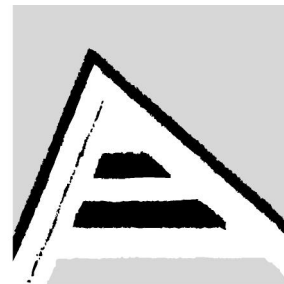


Pinar del Río, Junio de 2006



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

DEDICATORIA: A *mis padres*

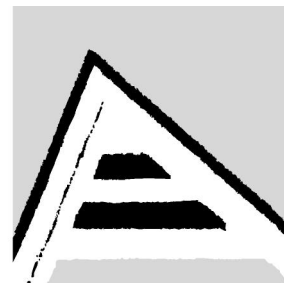


Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Agradecimientos:

- ***A todos los que me ayudaron en este camino***
- ***A mis compañeros y compañeras del laboratorio por soportarme durante todo este tiempo***
- ***A mi compañero y amigo ARMANDO que se vistió de campesino para ayudarme a recolectar tabaco***
- ***A mi compañero y amigo SOTOLONGO por su paciencia con la estadística***
- ***A Iris, mi esposa, por todo lo que empujó***
- ***A mi compañero y amigo DAGOBERTO, mi director de Tesis, por la confianza depositada en mi persona***
- ***Al Doctor ANTONIO ESCARRE por su colaboración y ayuda en todos los sentidos***

A todos Ustedes muchas gracias!



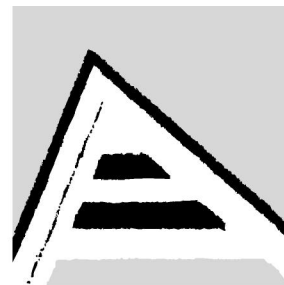
INDICE:

CONTENIDO

Introducción General

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

1.0 Capítulo 1 Revisión bibliográfica	
1.1 El cultivo del tabaco	
1.2 El suelo. Estructura y composición química	
1.3 Contaminación del suelo por metales pesados	12
1.4 Determinación del contenido de metales pesados en suelos	40
1.5 Valoración de la calidad de un suelo. Establecimiento de niveles de fondo y niveles de referencia	50
2.0 Capítulo 2 Caracterización edáfica y productiva de las áreas de la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez, Pinar del Río: Propuesta de manejo por medio de un Sistema de Información Geográfico (SIG).	56
2.1 Introducción	56
2.2 Materiales y método	65
2.3 Resultados y discusión	69
2.4 Conclusiones	88
3.0 Capítulo 3 Comportamiento de la Variedad "Criollo 98" en suelos de tres Cooperativas de la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez, Pinar del Río	89
3.1 Introducción	89
3.2 Materiales y método	99
3.3 Resultados y discusión	105
3.4 Conclusiones	127
4.0 Capítulo 4 Comportamiento de la Variedad "Criollo 98" en un suelo contaminado con Cadmio y Plomo	128
4.1 Introducción	128
4.2 Materiales y método	138
4.3 Resultados y discusión	145
4.4 Conclusiones	163
5.0 Capítulo 5 Influencia de la aplicación de diferentes dosis de Cd y Pb en la variedad de tabaco "Criollo 98" cultivada en un sustrato inerte.	164
5.1 Introducción	164
5.2 Materiales y método	177
5.3 Resultados y discusión	182
5.4 Conclusiones	204
Conclusiones Generales	205
Referencias Bibliográficas	206
Anexos	231



INTRODUCCIÓN GENERAL

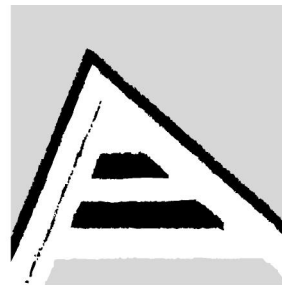
El tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) es una p **Universitat d'Alacant**
planeta. Se cultiva en muchos países del **Universidad de Alicante**
variadas condiciones de suelo y clima, lo
ecológica, su ciclo relativamente corto y a la gran variedad de tipos y calidades de
tabacos existentes. Ello no quiere decir que se obtengan elevados rendimientos y alta
calidad en todos los lugares en que está establecido este cultivo.

Desde hace muchos años, el tabaco ha resultado una apreciable fuente de ingresos de divisas al país, determinado ello, por la calidad sin par del tipo negro que se ha abierto paso en los mejores y más estables mercados de la aromática hoja. Es mundialmente conocida la calidad inigualable del tabaco negro cubano con el cual se elaboran los puros de mayor aceptación en el mercado mundial, lo que posibilita que el tabaco cubano tenga mercados estables y precios altos.

La clasificación genética del tabaco propone la existencia de varios tipos, tales como: Negro, Burley, Virginia, Oriental y Semi-oriental. Su cultivo está ampliamente difundido en el mundo y particularmente en países de alto desarrollo tecnológico donde el rendimiento alcanzado supera a las 2 t/ha. (F.A.O, 1989). Sin embargo, en nuestro país, pese a que no existen limitantes de clima y suelo para la producción de éste cultivo, la calidad y los rendimientos logrados no sobrepasan el 50% de las potencialidades de las variedades utilizadas.

El tabaco tiene diferentes usos, destacándose su empleo para fumar (puros, cigarrillos y picadura para pipas), para mascar, inhalar, así como para la elaboración de insecticidas a partir de la nicotina, su principal alcaloide. Se utiliza, además, para la extracción de proteínas, con fines alimentarios, de variedades obtenidas con tal propósito.

En Cuba se dedican al cultivo del tabaco negro unas 60 mil hectáreas, muchas de las



cuales, pudieran producir diferentes alimentos para alimentación animal, si se alcanzaran los requisitos. Esto pudiera lograrse sin afectar la calidad y las cualidades del suelo.

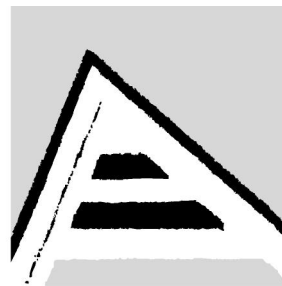
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Durante muchos años, los suelos dedicados al cultivo del tabaco han sido intensamente explotados, produciéndose el agotamiento de los mismos. Las enmiendas realizadas no han producido los resultados necesarios y ha existido un abandono casi total en lo relacionado con el estudio de los microelementos, su presencia en el suelo y en la planta en los niveles adecuados, así como la presencia de microelementos pesados que afectan la calidad de la producción obtenida.

Se impone, por tanto, la necesidad de que la materia prima con que se elaboran los cigarrillos y el tabaco cubano, de tanta fama en el mundo entero, se acerque cada vez mas la condición de materia prima ecológica estableciendo los parámetros necesarios que avalen la calidad del tabaco que se cultiva en esta Isla.

Los fenómenos naturales pueden ser causas de importantes contaminaciones en el suelo, pero las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo.

La contaminación de suelos es un problema ambiental grave, que afecta a aquellos países que han desarrollado, desde los comienzos de la revolución industrial, actividades de extracción y concentración de minerales así como procesos industriales en los que aparecen como materias primas y residuos. Durante muchos años, el destino que los industriales y usuarios han dado a los residuos y en especial a los de características tóxicas, ha sido el depositarlos en zonas del entorno urbano, canteras antiguas o en taludes y terrenos baldíos. También ha sido frecuente que muchos de estos restos permanecieran en o junto a los recintos fabriles, especialmente en el caso de escorias y sales de fundición cuya toxicidad, aunque sea en general baja, puede



incrementarse con el tiempo.

Universitat d'Alacant

La preocupación sobre los efectos de la contaminación reciente y muy posterior a la consideración de

Universidad de Alicante

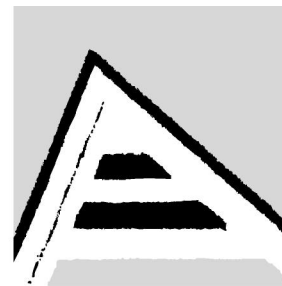
las actividades humanas sobre el aire y sobre el agua. Se reconoce la necesidad de que exista una reglamentación específica y se insta a los países a que elaboren normas para promover esta protección mediante la coordinación de las diferentes políticas sectoriales que puedan afectarlos. Se destaca la necesidad de prestar una especial atención para prevenir y reducir los problemas que causan los residuos en los suelos, con el fin de que no afecten a las posibilidades de desarrollo y supervivencia de las generaciones futuras.

Un suelo contaminado es aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, y como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera, y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La razón de la atención que reciben los metales pesados se debe a su enorme impacto medio-ambiental. Se trata de elementos acumulativos y no biodegradables. Algunos de ellos son esenciales a bajas concentraciones, y tóxicos cuando estas últimas superan un cierto umbral, mientras que otros son tóxicos "per se".

En Gran Bretaña se ha presentado un inventario del contenido en metales pesados (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, As y Hg) en 2000 suelos agrícolas de Inglaterra y Gales, que pone de manifiesto la necesidad de desarrollar estrategias para reducir el contenido de dichos metales y establecer políticas destinadas a la protección del suelo (Nicholson, 2003).

En este trabajo se realiza un estudio de una variedad de tabaco negro cubano (Criollo



98), la cual, por su versatilidad, se cultiva tal variante de "tapado" para la producción de café municipal de tabaco de San Juan y Martínez y Servicios (CCS). Teniendo en cuenta la magnitud

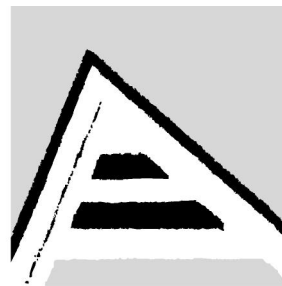
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

decidió aplicar un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permitiera una evaluación rápida y segura de todas las variables analizadas.

Los Sistemas de información Geográfica sirven de apoyo para dar solución rápida a diversos problemas que se pueden presentar en el proceso de producción agrícola, como son la determinación de las áreas con mayores aptitudes físico geográficas y edafoclimáticas, contribuye también a la comprensión de estos ecosistemas y a la agilidad en el proceso de proyección y planificación del proceso productivo en la agricultura. Es de vital importancia para establecer las áreas de mayores riesgos de contaminación, así como las fuentes de esta contaminación. La elaboración de software específico de determinadas zonas utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye un puente fundamental para emitir un criterio sobre el grado de pertinencia de un área determinada y las potencialidades reales que ésta presenta.

MapInfo profesional es un software de tipo desktop o desktop mappin, para trabajos de mapeo sencillos, rápidos y poco complejos, siendo uno de los que más se emplea actualmente en Cuba y a nivel mundial para estos fines.

Este trabajo reúne una serie de datos georreferenciados, a partir de los cuales pueden obtenerse diferentes mapas temáticos de gran utilidad para la administración óptima de la empresa. El producto final será un Sistema de Información Geográfica (SIG) que servirá de soporte para lograr una mayor eficiencia y rapidez en el procesamiento de la información agrícola en la empresa tabacalera "Hermanos Saíz Montes de Oca" de San Juan y Martínez, de manera que se produzca una valoración integral teniendo en cuenta toda la información disponible, lo que contribuirá a una mejor organización y control de la producción tabacalera.



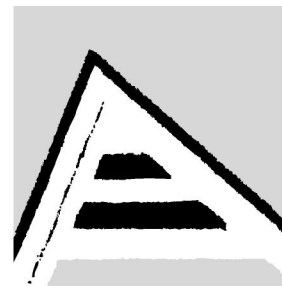
Por todo lo anterior, este trabajo podría contribuir para distintos metales pesados y su correlación morfológicos y fisiológicos de la planta de tabaco.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Se estudia la variedad de tabaco "Criollo 98" y sus potencialidades en relación con la asimilación de metales pesados como el Cadmio y el Plomo. Se investigan las potencialidades de esta variedad para técnicas de fitorremediación.

Se determinan valores de referencia que permiten marcar los niveles de riesgo referenciales, a partir de los cuales se podrá considerar si existe o no contaminación por Cadmio y Plomo de una forma más segura.

Finalmente, este trabajo pretende estimular la introducción de los SIG en áreas de producción tabacalera de importancia económica para la provincia y para el país.



CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

1.1.- EL CULTIVO DEL TABACO

1.1.1.- Generalidades del cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.).

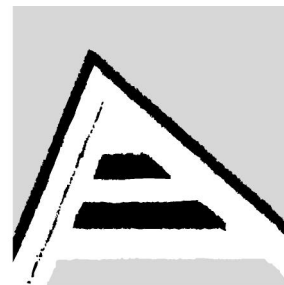
El tabaco es una planta en la que el hombre debe contribuir a que los procesos fotosintéticos, anabólicos y catabólicos vayan dirigidos hacia la obtención de una composición química acorde a la calidad exigida en función del uso industrial que tendrá la aromática hoja (Quintana, 1981).

Al valorar la calidad del tabaco negro cubano muchos la atribuyen a las adecuadas condiciones de suelo y clima que predominan en los agroecosistemas tabacaleros, lo cual es cierto, pero a ello se debe añadir los sólidos conocimientos, la experiencia atesorada de generación en generación por los productores y la estricta disciplina tecnológica en los procesos semi-industriales e industriales (Bustio, 2004).

Desde el punto de vista de la calidad el tabaco es una planta de baja plasticidad ecológica, lo que indica, dentro de otros aspectos, su alta dependencia del ambiente, razón por la cual cuando se decide trabajar en este cultivo, como productor o como técnico, se deben poseer sólidos conocimientos en relación con las exigencias climáticas y de suelo que requiere el mismo.

1.1.2.- Características de la variedad "Criollo 98"

La variedad "Criollo 98" se origina de un cruzamiento entre las variedades *Habana 92* y *Habana P.R.* Cuando se planta al sol desarrolla de 14-16 hojas útiles por planta y alcanza una altura promedio con inflorescencia de 150-160 cm, dada esta pequeña altura al hecho de que posee una distancia de entrenudos media de sólo 5 cm, aspecto este que la distingue del resto de las variedades de tabaco negro cubanas. La hoja mayor presenta una longitud media de 48-52 cm y un ancho de 24-28 cm. Su rendimiento potencial medio cultivada al sol ensartado es de unos 500 quintales/caballería (1,7 Mg/ha), y al sol en palo de 800 quintales/caballería (2,7 Mg/ha).



Es resistente al moho azul, la pata prieta moderadamente resistente a la necrosis amil, al sol ensartado y al sol en palo. Cultivada en capote. (Bustio, 2004)

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

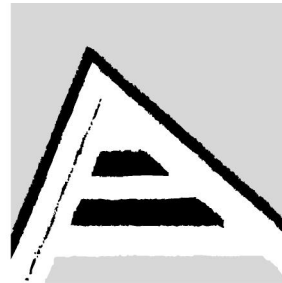
1.1.3.- Características de la producción tabacalera en Cuba.

Superficie cultivada: Aproximadamente 60 000 ha. Producción total: 33 000 Mg.
Rendimiento por superficie: 871 Kg/ha.

En Cuba la producción de tabaco se ha concentrado tradicionalmente en cuatro grandes zonas de producción, encontrándose la mayor calidad en la zona Vuelta Abajo.

Vuelta Abajo. Es una zona mundialmente conocida por la calidad del tabaco en ella plantado. Se ubica en la región más occidental de Cuba. Abarca los municipios de Guane, Mantua, Sandino, San Juan y Martínez, San Luís, Pinar del Río, Minas de Matahambre, Viñales, La Palma y los límites de Consolación del Sur y Herradura hacia el Oeste. Esta zona produce tabacos finos, con brillo, buena combustibilidad y muy aromáticos, excelentes para la elaboración de los "Habanos", preferidos por los fumadores. Es la zona más famosa de Cuba. Aquí se produce la totalidad del tabaco de vega fina, fundamentalmente en los municipios de San Juan, San Luís y en menor escala en los de Pinar del río y Minas de Matahambre, obteniéndose por tanto "capotes" y "tripas", además de las reconocidas "capas".

También en Vuelta Abajo se cultivan los tabacos de tipo Virginia y Burley y en general la zona abastece el consumo interno del torcido y es productora del 65% del tabaco tapado de Cuba. Existen regiones en todos los municipios de esta zona en las que se destaca la calidad de su rama negra para la exportación. Se caracteriza esta zona productora por ser en la que mejor técnica se emplea y por el uso de regadío en gran parte de ella.



1.2.- EL SUELO. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN

El suelo desde el punto de vista físico es la interfaz constituido por una mezcla variable de partículas sólidas, una disolución acuosa. El suelo formado por meteorización sobre el medio rocoso original constituye el soporte material para el desarrollo de organismos vivos (De Haan y Van Riemsdijk, 1986).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

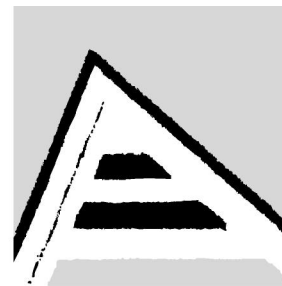
La Organización Internacional de Normalización (ISO 11074-1) define el suelo como la capa superior de la corteza terrestre, compuesto de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, y es la interfaz entre la tierra (geosfera), el aire (atmósfera) y el agua (hidrosfera).

Según esta definición, dentro del suelo vamos a considerar dos partes fundamentalmente: la parte biótica y la parte abiótica.

La parte biótica o parte viva del suelo, comprende una gran variedad de organismos: raíces de plantas, fauna del suelo y microorganismos, principalmente bacterias y hongos.

La parte abiótica del suelo, está constituida por tres fases diferentes:

Fase sólida: Constituida por partículas que constituyen el soporte que confiere rigidez y firmeza al suelo. Entre estas partículas existen huecos de forma y tamaño diferente denominados poros del suelo. En estos poros se encuentran la fase líquida y gaseosa del suelo. El volumen ocupado por los poros del suelo es variable y depende del tipo de suelo. Según De Haan y Van Riemsdijk, (1986) el volumen de poro en suelos arenosos es de 40-55% del total, para suelos arcillosos del 50 -70% y para suelos de turba puede superar el 80%. Dentro de la fase sólida del suelo se distinguen dos fracciones: la fracción orgánica y la fracción mineral.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La fracción orgánica proviene fundamentalmente por restos vegetales en diferente estado de descomposición. Los resultados finales de esa descomposición son el resultado final de esa descomposición.

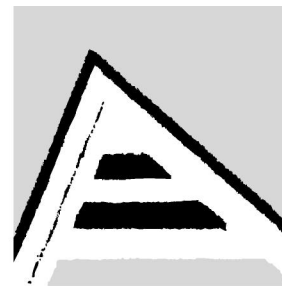
gran número de grupos con carga negativa y una gran superficie específica (6000 m²/g) por lo que tienen un importante papel en la adsorción electrostática de cationes, la unión del agua y la cohesión de las partículas del suelo, responsable de su estabilidad estructural.

La fracción mineral está fundamentalmente formada por cuarzo, oxihidróxidos de hierro, aluminio y manganeso y por minerales de la arcilla. Los minerales de la arcilla y los oxihidróxidos son los responsables de la reactividad del suelo, reactividad debida principalmente a su elevada área específica y a la densidad de carga que poseen, principalmente el grupo de las arcillas.

La carga negativa de las arcillas, de las sustancias húmicas (dependiendo del pH) y en ocasiones de los óxidos, dotan al suelo de una elevada capacidad de adsorción de los cationes, característica muy importante a tener en cuenta en un estudio de contaminación por metales pesados.

Fase Gaseosa: Representa el contenido en gases atmosféricos del suelo 20-30% de aire, aunque varía en función de la porosidad del suelo

La composición del aire edáfico varía con la profundidad: en la parte más superficial la presión parcial del oxígeno tiende a ser la correspondiente a la atmósfera (0,21 atm), pero decrece con la profundidad, de forma que en la zona más profunda el ambiente tiende a ser anóxico. Esta falta de oxígeno favorece los procesos anaerobios en los que se generan gases reductores (CH₄, N₂, H₂, H₂S). Por el contrario la presión parcial del CO₂ aumenta con la profundidad, alcanzándose valores de 2-10 atmósferas (De Hann y Van Riemsdijk, 1986).



Fase Líquida: Es la fina capa acuosa que esencialmente es una disolución de sales, aquí procedentes de la descomposición de plantas actúa de intermediario entre la litosfera y los organismos con la atmósfera, una relación indirecta con los gases atmosféricos y dependiendo del balance evaporación-lluvia, puede tener lugar la infiltración de agua edáfica hacia horizontes más profundos.

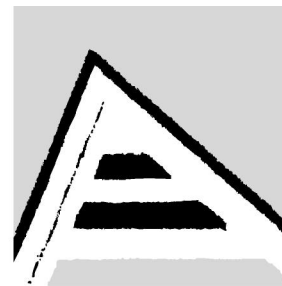
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los iones están presentes en la disolución del suelo por causas distintas, las principales son:

- Meteorización mineral
- Descomposición de la materia orgánica
- Lluvia
- Procesos de intercambio iónico entre la disolución del suelo y las partículas coloidales, tanto minerales como orgánicas
- Mecanismos de entrada exógenos, como por ejemplo: el riego con agua de alto contenido salino, los procesos de fertilización o el vertido de contaminantes solubles.

Los procesos de descomposición de materia orgánica liberan iones de manera más rápida que la meteorización mineral, con lo que el primer mecanismo adquiere un papel predominante a corto término. Por otra parte no todos los iones procedentes de las fuentes mencionadas pasan íntegramente a la disolución del suelo. Existen procesos de retención edáfica que dificultan la lixiviación de los iones por parte del medio acuoso percolante y que, en consecuencia, dosifican su pérdida a través de los horizontes más profundos.

Desde el punto de vista químico el suelo es una mezcla química extraordinariamente compleja de diferentes sustancias minerales y orgánicas. En la formación de un suelo actúan cinco factores: el clima, la topografía, los organismos vivos, el material original y el tiempo. La composición química de un suelo viene determinada, en buena parte, por el tipo de material originario (roca), puesto que es el material base a partir del cual se



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

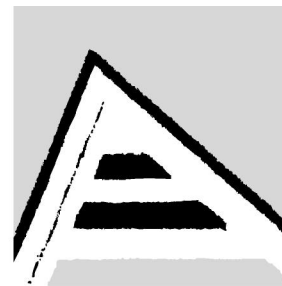
genera el suelo. Estas rocas cuando afloran partir de este momento, tienen lugar proceso roca, dando lugar al fenómeno de meteorización. El agua edáfica, que produce una cierta meteorización orgánica, se desarrolla una estructura secuencial en capas distintas, según la profundidad, denominada horizontes. El conjunto de los horizontes, denominado perfil, da una idea de la estructura global de un suelo (Doménech, 1997).

Los distintos horizontes del suelo, los cuales pueden distinguirse visualmente, tienen diferentes propiedades físicas y químicas, dependiendo del proceso de formación del suelo. Básicamente, en un suelo pueden distinguirse tres horizontes, (Doménech, 1997). De menor a mayor profundidad son los siguientes:

Horizonte A: Esta constituido por partículas minerales y materia orgánica fresca y parcialmente descompuesta. Es una zona del suelo donde se produce mucha lixiviación, principalmente de sales de Fe, Al y Mn. Contrarrestando la acumulación de materia orgánica procedente de organismos vivos, tiene lugar una transferencia de compuestos orgánicos sencillos hacia horizontes más profundos. En este horizonte predominan los materiales silíceos.

Horizonte B: Se produce la acumulación de los compuestos de lixiviación procedentes del horizonte A. En esta región tiene lugar una lixiviación moderada y la oxidación de materia orgánica. Este horizonte, contiene óxidos de Fe (III), por lo que acostumbra a tener una cierta coloración entre amarilla y marrón. Así mismo, hay presencia predominante de silicatos laminares.

Horizonte C: Es el más profundo y se caracteriza por la práctica inexistencia de lixiviación. En esta zona de meteorización pobre, se observa la presencia de material poco particulado.



1.3.- CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR MI

1.3.1.- METALES PESADOS.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Se considera metal pesado al elemento m... superior a 6 g/cm³ cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos o alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos, arsénico, boro, bario y selenio que se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados.

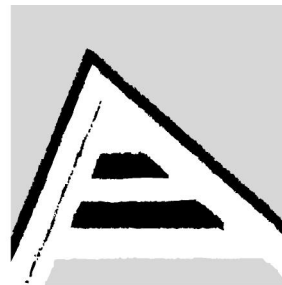
Algunos autores consideran esta definición un tanto ambigua y prefieren utilizar la denominación de metales traza (Ward, 1995). Bajo esta denominación se engloban todos los elementos presentes a concentraciones no detectables mediante técnicas de análisis clásicas, de forma que se consideran elementos traza a los que resultan detectables en un rango de concentración de 100 a 0,01 mg/kg y se reserva el término ultratrazas a niveles comprendidos entre 0,01 mg/kg y 10 µg /Kg.

En este trabajo se ha optado por la utilización del término metales pesados, ya que en algunos casos están presentes en concentraciones que sobrepasan los 100 mg/kg, por lo que a partir de este punto siempre se hará referencia a ellos utilizando esta denominación.

Dentro de los metales pesados se distinguen dos grupos:

Oligoelementos: Necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos. Son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: arsénico, boro, cobalto, cromo, cobre, molibdeno; manganeso, níquel, selenio y cinc.

Metales pesados sin función biológica conocida: Metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos.



Resultan altamente tóxicos y presentan la prop
vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni,

Universitat d'Alacant

Los metales pesados han sido objeto de atenci
peculiares (Fachinelli et al., 2001):

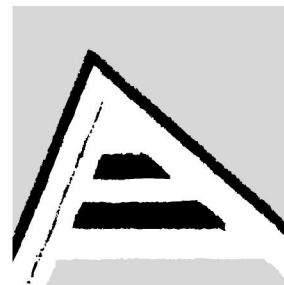
Universidad de Alicante

- Poseen carácter acumulativo, su concentración no disminuye con el tiempo.
- Son necesarios y beneficiosos para las plantas y otros organismos a determinados niveles, pero también son tóxicos cuando exceden unos niveles de concentración.
- Están siempre presentes en los suelos a unos niveles de concentración denominados niveles fondo, cuyo origen no es externo, sino que proviene del material originario de las rocas y su transformación.
- Con frecuencia se encuentran como cationes que interactúan fuertemente con la matriz del suelo, lo que en ocasiones se traduce en que incluso a altas concentraciones pueden encontrarse en forma química no dañina o inerte. Sin embargo estos metales pueden movilizarse y cambiar de forma química debido a cambios en las condiciones medioambientales, cambios en el uso del suelo o por saturación de la capacidad de tamponamiento del suelo. Por esta razón se les ha catalogado como bomba de relojería química (Stigliani, 1993).

Los metales conocidos como contaminantes importantes siguen la serie de solubilidad:
 $Cd > Zn > Ni > Cu > Pb > Cr$.

La absorción de los elementos químicos por las plantas es favorecida por su solubilidad, dependiendo también de mecanismos de absorción específicos y del antagonismo con otros metales. La toxicidad de algunos metales para las plantas depende en mucho del tipo de vegetal de que se trate de acuerdo a las vías metabólicas a las que afecte. Ésta puede manifestarse de varias formas:

- Alteración del balance iónico de la membrana plasmática, lo que ocasiona la salida de iones, como el potasio.



- Alteración del balance iónico en orga genera una inhibición del crecimier alteraciones metabólicas (reacciones respiración).

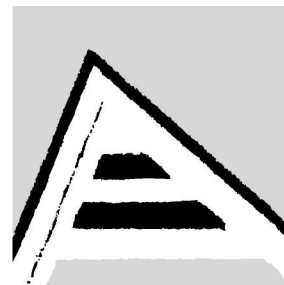
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La resistencia de las plantas a los metales contaminantes se manifiesta de dos formas principales: evasión y tolerancia.

La evasión es considerada como la capacidad de la planta para prevenir una captación excesiva, mientras que la tolerancia se manifiesta como la capacidad para controlar la concentración de esos metales en su cuerpo. La evasión involucra dos tipos de procesos, exclusión y expulsión. En ellos se manifiesta: impermeabilidad (cambio en el arreglo molecular de la membrana); captación disminuida (cambios en la capacidad de la membrana para unir metales con fracciones péctnicas y proteicas) y precipitación (aumento en la exudación de sustancias quelantes de metales como ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y péptidos). Para llevar a cabo la expulsión, las plantas incrementan el transporte activo y la volatilización. (García, I., Donrosoro, C. 2003).

La tolerancia se lleva a cabo principalmente por la acumulación en forma inocua. Se pueden producir compuestos que se almacenan como aminoácidos o ácidos como el cítrico y el málico. También pueden ocurrir alteraciones metabólicas a nivel enzimático o alteraciones de transporte de sustancia de una a otra región de la planta, por ejemplo la restricción de la circulación de compuestos de la raíz hacia el tallo; de hecho las vacuolas funcionan como organelos que restringen por momentos, la circulación de algún compuesto, dentro de la célula.

Debido a estas características es necesario profundizar en el estudio de la procedencia de los metales pesados en el suelo y en los factores que modifican su disponibilidad.



1.3.2.- ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DE

El contenido de metales pesados en suelos depende de la composición del material original y de los procesos que actúan sobre el suelo, pero la actividad humana incrementa las cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de su presencia a niveles tóxicos.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

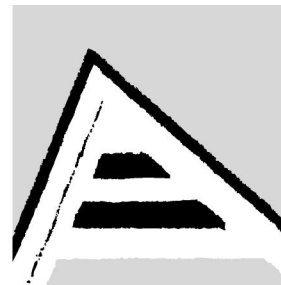
Cabe distinguir, por tanto dos tipos de procedencia para los metales pesados:

Origen natural: Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas, con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn); Los metales pesados al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas, debido a que pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que las consumen.

Las rocas ígneas ultrabásicas (como las peridotitas y las serpentinas) presentan los más altos contenidos en metales pesados, seguidas de las ígneas básicas (como los basaltos). Las menores concentraciones se encuentran en las rocas ígneas ácidas (como el granito) y en las sedimentarias (como las areniscas y las calizas). Los porcentajes más altos se dan para el Cr, Mn y Ni, mientras que el Co, Cu, Zn y Pb se presentan en menores cantidades, siendo mínimos los contenidos para el As, Cd y Hg.

En los suelos, los más abundantes son el Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1-1.500mg/kg; el Mn puede llegar a 10.000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cd y Hg (0,01-2 mg/kg), según Bowen (1979).

Sin embargo, en el proceso natural de transformación de las rocas para originar los suelos, los metales pesados aunque se encuentren a elevadas concentraciones, no suelen rebasar los umbrales de toxicidad y además se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos.



Origen Antropogénico : En muchos casos el pesados en suelos se incrementa por causas r la causa mas frecuente de este incremento.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Las actividades que provocan una modificación del contenido natural son muy variadas: vertidos industriales, vertidos procedentes de actividades mineras, aplicación de productos químicos agrícolas y lodos residuales, gases de combustión, emisión de partículas del tráfico rodado y por último aunque no menos importantes los residuos sólidos de origen doméstico, (Lund, 1990).

Las mayores fuentes industriales incluyen fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados con las menas de hierro, como el níquel. Los metales asociados con áreas muy industrializadas incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro y níquel.

La producción de plomo secundario es una fuente potencial de contaminación del aire, suelo y agua en muchas de las etapas de fabricación.

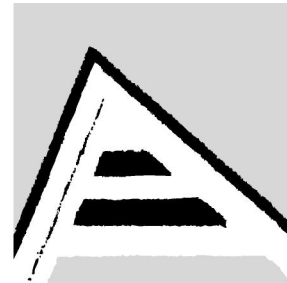
De las afecciones mencionadas, se resalta la posible contaminación atmosférica por metales, plomo y cadmio principalmente, que por depósito de los mismos, puede provocar un aumento de los niveles de estos metales en suelos próximos a la planta así como la contaminación por acumulación de residuos en zonas próximas.

1.3.3 TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS

El grado de toxicidad de los metales pesados en el suelo no solo depende del tipo de elemento de que se trate y de la concentración en que se encuentre, si no que tiene una especial incidencia la forma química o física en que se presente, ya que regula su disponibilidad y por tanto el efecto contaminante producido.

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

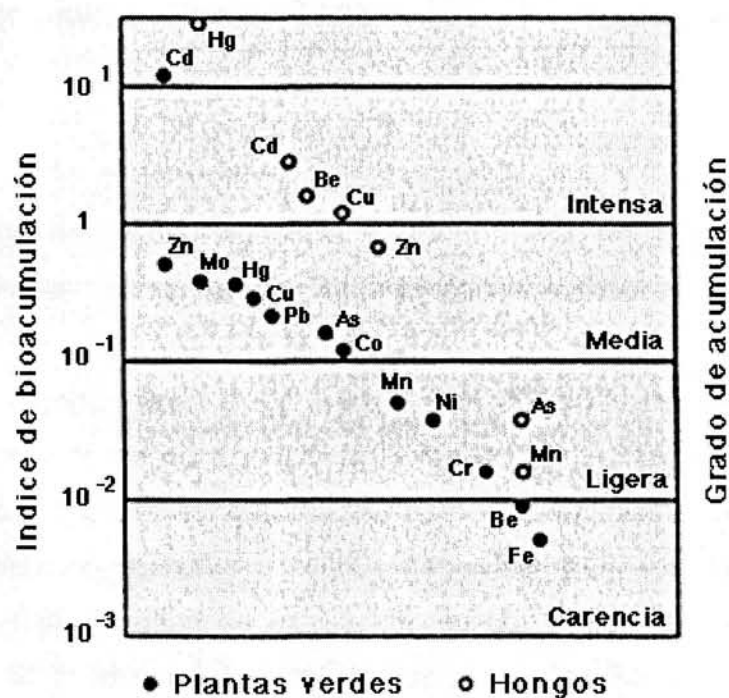
- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.



- Pueden ser absorbidos por las plantas y así i
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilizació
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Los riesgos producidos son función, fundamentalmente, de la toxicidad y el carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación superior a 1. (Figura 1.2).

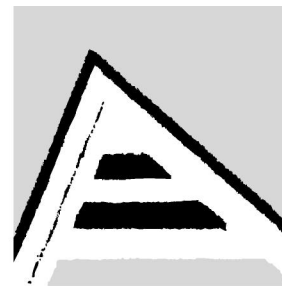


Mas y Azcue, 1993

Figura 1.2: Índice de Bioacumulación (adaptado de Calvo Anta, 1996).

El concepto de bioacumulación se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se expresa por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo.

De entre los iones metálicos más tóxicos cabe destacar el Cd y Hg. El primero se encuentra en forma catiónica y sus propiedades se asemejan a las del ión calcio. Su



interacción con los constituyentes edáficos es
a su extrema toxicidad, cualquier vertido es
problemáticas.

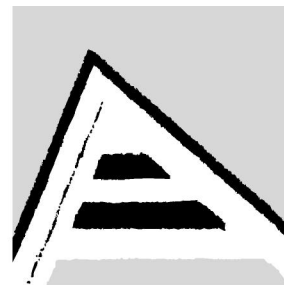
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Para definir los umbrales de toxicidad para los distintos contaminantes, un primer paso, muy útil, es calcular los valores normales que presentan los suelos naturales, no contaminados. A partir de este fondo geoquímico se puede establecer los umbrales mínimos que pueden representar contaminación y definir los niveles de toxicidad. Estos niveles han de ser contrastados con estudios sobre las repercusiones en vegetales y animales.

Para el reconocimiento de la contaminación se utilizan los "niveles de referencia" que conllevan sistemas de alerta, vigilancia y control. Por encima de estas guías se encuentran los "niveles de intervención" que obligan ya a tomar medidas correctoras.

La toxicidad de un suelo debida a los metales pesados y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables; es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas. Esta fracción asimilable se equipara a la extraída por DTPA o por EDTA y a ella se deberían referir los diferentes niveles de toxicidad. Pero por la dificultad de extracción, es por lo que las normativas prefieren evaluar la cantidad total de elemento tóxico presente. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente (Lindsay, 1978, calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble). Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí como de las características del propio suelo (conceptos ya expuestos anteriormente). Por ejemplo, para una misma concentración de elementos tóxicos en un suelo, la concentración de la fase asimilable será mucho más elevada para un suelo ácido que para uno neutro o alcalino.

Sería correcto indicar que la concentración en la fase asimilable es una medida directa de la peligrosidad real o presente, mientras que la concentración total es válida para evaluar la peligrosidad potencial o futura y solo representa de una manera indirecta y



aproximada de la toxicidad actual de un suelo.

No obstante, de todo lo ya anteriormente expuesto, un sólo valor no puede representar los tipos de suelos, para todos los cultivos y para todos los diferentes usos.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

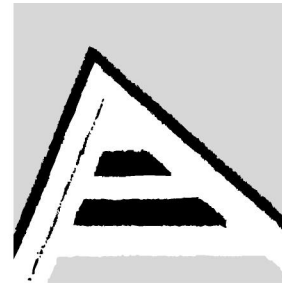
1.3.4.- FACTORES DEL SUELO QUE AFECTAN A LA DISPONIBILIDAD Y ACUMULACIÓN DE LOS METALES PESADOS.

El establecimiento de las características edáficas de un suelo resulta imprescindible a la hora de determinar la toxicidad de un metal pesado ya que de estas características depende el comportamiento del suelo frente a la acumulación de metal.

Acidez del suelo (pH)

El pH del suelo es uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos, en la reactividad del suelo y en la movilidad de los contaminantes. La concentración de un metal en la disolución del suelo y por tanto su biodisponibilidad y su toxicidad potencial, está controlada por las reacciones de adsorción y desorción que ocurren en la materia coloidal del suelo. Estos procesos de adsorción de metales por el suelo se ven fuertemente influenciados por diversos parámetros edáficos y en concreto por el pH como se pone de manifiesto en numerosos estudios: Gerriste and van Driel (1984), Naidu et al., (1994), en los que se comprueba que en general los suelos de pH mas básicos presentan adsorción mas fuerte para los metales pesados que los de pH mas ácidos. Hooda y Alloway (1994a, 1994b, 1998), han estudiado la adsorción de cadmio y plomo en diferentes suelos y han comprobado la influencia del pH, estableciendo también en sus conclusiones que los suelos de pH mas básico presentan mayor retención de los metales.

La mayoría de los metales pesados tienden a estar más disponibles a pH ácidos a excepción hecha de arsénico, molibdeno, selenio y cromo, los cuales presentan mayor disponibilidad en suelos de pH alcalino.



Según Manzione y Merrill (1989) la adsorción está fuertemente condicionada por el pH del su en la Figura1.3.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

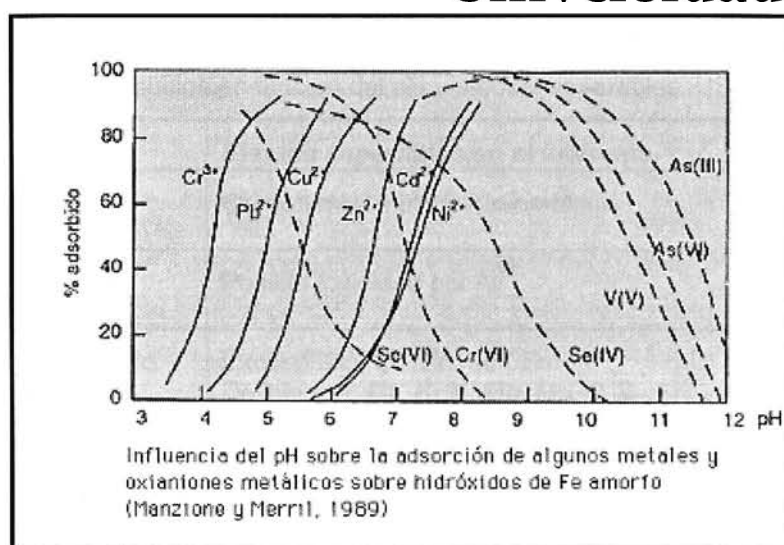
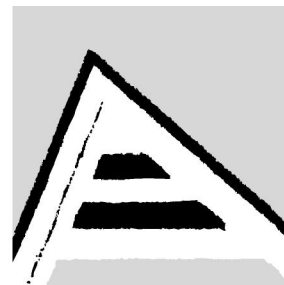


Figura 1.3: Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales sobre hidróxidos de hierro amorfo.

Se estudió la variación en la solubilidad de cobre y cadmio en suelos contaminados en función de los niveles de metal presente en el suelo, el pH y el contenido en materia orgánica. La influencia del pH también se pone de manifiesto al estudiar la distribución de metales entre suelo y disolución de suelo, observando un decrecimiento marcado de la disponibilidad del metal al incrementar el pH (Sauvé et al., 1997, 2000).

El pH es, por tanto, un parámetro importante para definir la movilidad de los diferentes componentes minerales, ya que su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes. En algunos los fija, disminuyendo su solubilidad aparente, con lo que las plantas no podrán absorberlos y por el contrario, en otros casos favorecerá su movilidad aumentando su solubilidad y haciendo que la concentración de las especies resultantes alcance niveles tóxicos (Krishnamurti, 2003).



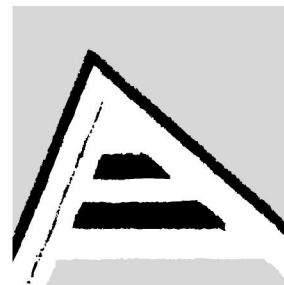
En general se considera que el pH normal de los suelos es entre 6 y 8. Los suelos con pH < 4,5 se consideran muy ácidos y los suelos con pH > 8,5 se muestran los principales efectos esperables como establece el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Tabla 1.1: Clasificación de los suelos en función del pH y efectos esperables. USDA 1971

pH	Evaluación	Efectos esperables en el intervalo
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5 – 5,5	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al^{3+}
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S Suelo sin carbonato cálcico Actividad bacteriana escasa
5,6 – 6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6,6 -7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos Por debajo de pH = 7,0 el carbonato cálcico no es estable en el suelo
7,4 – 7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con carbonato cálcico
7,9 – 8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B
8,5 – 9,0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH básicos suelen deberse al $MgCO_3$, si no hay sodio intercambiable
9,1 – 10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
> 10,0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable Toxicidad: Na, B Movilidad del P como Na_3PO_4 Actividad microbiana escasa Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo

Existen diversos métodos para la medida del pH, obteniéndose valores diferentes dependiendo del método utilizado, pudiéndose encontrar, para una misma muestra, valores de pH que varían entre 0,5 y 1,5 unidades (Tucker et al. , 1987), por lo que será necesario especificar el método aplicado. A continuación citamos los métodos más utilizados:



- pH de extracto con agua:

Se prepara una mezcla suelo-agua en difere
2,5; 2:3) se agita durante una hora, se centrifuga

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

- pH de disolución con electrolito:

Las mezclas se realizan con la disolución de electrolito (habitualmente KCl ó CaCl_2) se agita durante una hora y se mide el pH directamente en la suspensión. El pH obtenido suele ser menor que el obtenido en otros métodos ya que se liberan mas protones al intercambiarse con los cationes del electrolito.

Nilson et al. (1995), han determinado el pH de distintos suelos utilizando tres reactivos distintos: agua, cloruro cálcico 0,01M y cloruro potásico 1M encontrando diferencias no solo en cuanto al reactivo utilizado, sino en función de la proporción disolución:suelo.

- pH en una suspensión:

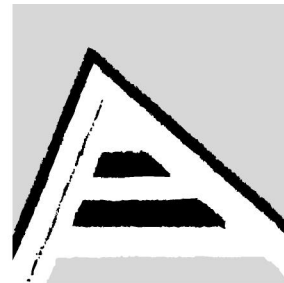
Se preparan mezclas suelo-agua en distinta proporción peso-volumen, se agita durante una hora y se mide el pH directamente en la suspensión. El pH así medido es el que más se acerca al pH real del suelo. Si se deja sedimentar se puede medir el pH de la fase acuosa sobrenadante. Este pH suele ser mayor que el obtenido en la suspensión, lo que se conoce como efecto de suspensión.

Este último método es el utilizado en este trabajo realizando la comparación entre el pH obtenido en la suspensión y el pH del líquido sobrenadante.

Textura

El término textura se utiliza para representar la composición granulométrica del suelo. Cada término textural se corresponde con una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla.

La arcilla tiene un papel fundamental a la hora de caracterizar la contaminación de



metales pesados en suelos ya que influye sobre los
metales pesados, que quedan retenidos en suelos
los suelos arenosos, carecen de esta capacidad
pesados pasan rápidamente al subsuelo y

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Hooda y Alloway (1998), han encontrado correlación positiva entre el contenido de arcilla y los parámetros de retención de cadmio y plomo al estudiar las isotermas de adsorción, y correlación negativa respecto al contenido en arenas de distintos suelos.

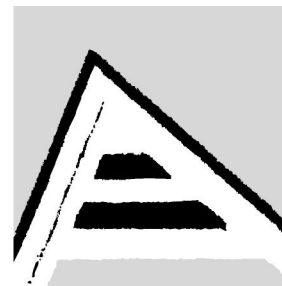
Las combinaciones posibles en los porcentajes de arcilla, limo y arena pueden agruparse en unas clases texturales. La fracción de arcillas resulta ser la más determinante en el comportamiento de un horizonte y en consecuencia en el comportamiento del suelo que las restantes fracciones, debido a lo cual de forma sencilla pueden clasificarse los suelos atendiendo al contenido en arcilla como:

arenosos	< 10 % arcilla
francos	10 -30 % arcilla
arcillosos	> 30 % arcilla

La determinación de cada fracción se realiza por tamaño de partícula para lo cual se han establecido diversas clasificaciones granulométricas entre las que destacan la clasificación Internacional y la del USDA.

La textura de un suelo da una idea de su porosidad, parámetro que determina la permeabilidad del suelo es decir la velocidad con que agua y aire se mueven desde las capas altas a las más profundas. Otro parámetro importante que define la textura es la estructura, que da una idea de cómo se unen las partículas entre sí. Todos estos parámetros en su conjunto definen la capacidad del suelo en retener agua, airearse y en poder ser cultivado.

Las partículas de arcilla, dada su gran superficie específica, intercambian iones de la disolución del suelo, lo que hace que tenga un buen poder de retención de nutrientes.



No obstante, se compactan muy fácilmente, buena, pero su capacidad de infiltración es arcillosos suelen estar inundados.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

En el lado opuesto están los suelos arenosos, los cuales, si bien son fácilmente cultivables, tienen poca capacidad de retención de agua y de nutrientes debido al gran tamaño de poros que los caracteriza. El suelo franco, es un suelo formado por una mezcla determinada de arcilla, arena y limo, que presenta unas propiedades óptimas para el cultivo. En concreto, la proporción de cada una de las fracciones inorgánicas que caracteriza un suelo franco gira entorno de un 40% de arena, un 40% de limo y un 20% arcilla.

Elkhatib et al., (1991), observaron que la retención de plomo en suelos era mayor en suelos calcáreos, seguido de suelos arcillosos, correspondiendo el menor valor a los suelos arenosos.

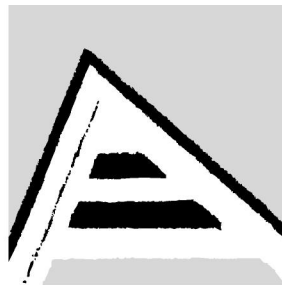
Mineralogía de las arcillas.

En el apartado anterior se ha hecho referencia a la capacidad que poseen las arcillas para retener los metales pesados del suelo.

El término arcilla se utiliza en mineralogía para designar el conjunto de minerales de pequeño tamaño de partícula, pertenecientes a la subclase de los filosilicatos. Son aluminosilicatos hidratados con estructuras de hojas, con espaciamentos y contenidos en los espacios interlaminares característicos para cada mineral.

Los minerales de la arcilla ejercen una gran influencia sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, como consecuencia de su pequeño tamaño de partícula, alta superficie específica y sus propiedades para intercambiar cationes (Porta et al., 1999).

Las unidades principales en la formación de los minerales de arcilla son disposiciones bidimensionales de tetraedros de silicio-oxígeno y disposiciones bidimensionales de



octaedros de aluminio o magnesio con oxígeno. Las capas da lugar a los diferentes minerales con en cuanto a la capacidad de adsorción de metales, la importancia de su caracterización.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los tipos de minerales de arcilla laminares, se agrupan en cinco grupos diferentes:

Grupo de la Caolinita

No presenta sustituciones isomórficas significativas, lo que se traduce en una estructura eléctricamente neutra. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja y la carga, que depende del pH, es variable.

Arcillas micáceas: Ilitas

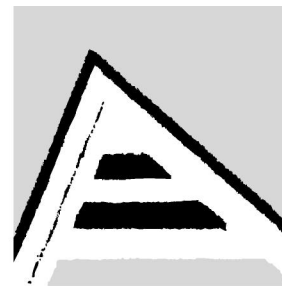
Son frecuentes en suelos del área mediterránea. Poseen un déficit de carga parcialmente equilibrado por K^+ inter laminar fijado, por lo que no es intercambiable. Al quedar bloqueadas sedes de intercambio, la CIC es menor de lo que sería de esperar atendiendo a las sustituciones isomórficas, aproximadamente es de $10-40 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$.

Grupo de las Esmeclitas

Presentan menos sustituciones isomórficas que la Ilitas, lo que hace que posean menor carga eléctrica de superficie. Las sustituciones isomórficas definen las diferentes especies minerales dentro del grupo. La capacidad de intercambio catiónico es alta, $80-150 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$. Son arcillas con una actividad coloidal, plasticidad y cohesión elevadas.

Grupo de las Vermiculitas

Su estructura se asemeja a la de una mica, de la que pueden proceder por meteorización, aunque poseen una carga menor. Su CIC es muy elevada, de 120 a $150 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ y la superficie específica de $600-800 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$.



Grupo de la Cloritas

Es un mineral relativamente poco frecuente (mineral no es expandible y su CIC es baja $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$. La superficie específica efectiva m^2g^{-1} . Además de los minerales arcillosos anteriormente mencionados, pueden

encontrarse minerales de arcilla interestratificados con propiedades intermedias respecto a los minerales componentes.

En definitiva, la capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

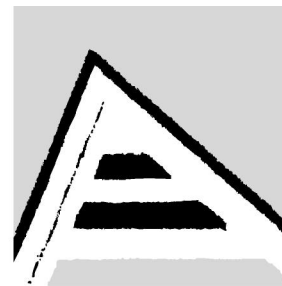
La diferencia en la estructura de caolinitas y esmectitas es notable y como consecuencia el comportamiento de ambas frente a procesos de adsorción de metales. Miranda-Treviño y Coles (2003), han analizado la adsorción de Pb, Zn y Cd a distintas concentraciones utilizando caolinita y diferentes tiempos de exposición, encontrando que se produce una reducción en el pH de la disolución de partida.

Salinidad

La salinidad viene determinada por el contenido en sales de un suelo y es un parámetro de influencia en la movilización de metales pesados (Doménech, 1997).

El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. En primer lugar, los cationes asociados con las sales (sodio y potasio) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar, los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como cadmio, cinc y mercurio.

Calmano et al., (1992), han demostrado la influencia de la salinidad en la movilización de metales pesados en sedimentos contaminados, incrementando la salinidad de las muestras mediante experimentos realizados en laboratorio. Los suelos con elevada



salinidad suelen ser suelos de pH básicos.

La conductividad eléctrica es la magnitud que
salinidad de un suelo, ya que esta directamente
iones en disolución.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La medida de la conductividad del extracto acuoso de un suelo, permite establecer una estimación de la cantidad de sales que contiene. Este valor dependerá de la proporción suelo: agua ya que una mayor proporción en agua extrae más sales de las que realmente se encuentran libres cuando el suelo contiene su humedad propia. Además las especies iónicas extraídas, pueden ser diferentes a las que se encuentran presentes en los extractos del suelo. Una consecuencia del exceso de salinidad en los suelos es la aparición de calveros y por tanto la pérdida de la fertilidad.

Para medir la conductividad se utiliza el líquido sobrenadante obtenido en la medida del pH. Los suelos pueden clasificarse en función de su conductividad de acuerdo con los criterios de la Tabla 1.2

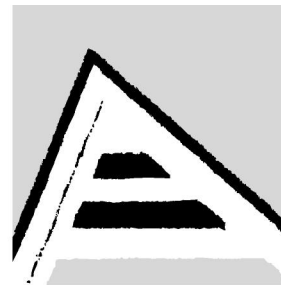
Tabla 1.2.- Criterios de salinidad para suelos (Doménech 1997)

Denominación	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
No salino	< 350
Ligeramente salino	350 – 650
Salino	650 – 1150
Muy salino	> 1150

Materia Orgánica.

La materia orgánica reacciona con los metales dando lugar a complejos de cambio o quelatos, de esta forma los metales migran con más facilidad a lo largo del perfil.

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales que pueden quedar en posición no disponible para las plantas. Por este motivo, algunas plantas de suelos con contenidos elevados en materia orgánica presentan carencias de elementos



como el cobre. El plomo y el cinc forman quela

Existen numerosos estudios sobre la influencia
sobre la retención de los metales:

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Elliot et al., (1985), han estudiado el efecto de la adsorción sobre Cd, Cu, Pb y Zn simultáneamente de la materia orgánica de los suelos, sugiriendo que un mayor contenido en materia orgánica incrementa la retención del cadmio sobre el cinc.

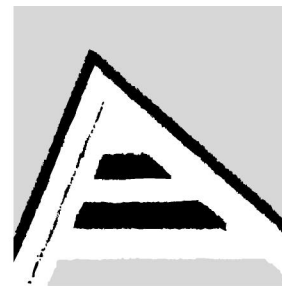
Neal y Sposito (1986), han investigado la adsorción de cadmio en pequeñas concentraciones por suelos con diferente composición química y mineralógica.

Sauvé et al., (1998), han estudiado el efecto que la materia orgánica y el pH tienen sobre la especiación de plomo en la disolución del suelo.

Strawn y Sparks (2000), en sus estudios sobre la influencia de la materia orgánica del suelo sobre la cinética y el mecanismo de las reacciones adsorción-desorción del Pb(II) en el suelo, encuentran que la materia orgánica tiene un papel importante en los procesos en los que se produce una baja desorción del metal.

Kashem y Singh (2001), comprobaron al estudiar el efecto de aplicación de materia orgánica en campos de arroz, que la concentración de metal soluble era mas baja en los suelos tratados con materia orgánica y que esta variación se relaciona con cambios en los valores de pH y potencial para esos suelos.

Impellitteri et al., (2002), han estudiado la correlación entre la fracción de materia orgánica en disolución, en función del pH, y la desorción de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn de 18 suelos alemanes poniendo de manifiesto que el efecto del carbono orgánico disuelto en la movilización de Cd, Ni y Zn solo se produce en sistemas que se encuentran a pH muy elevados.



Yanzheng Gao et al., (2003), han investigado procesos de desorción de Cd y Cu en su presencia de citrato y tartrato a bajas concentraciones, mientras que a altas concentraciones aparentemente

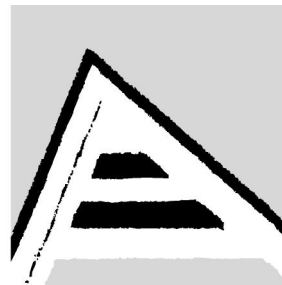
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Como ha podido comprobarse, la formación de complejos por la materia orgánica del suelo, es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y disponibilidad de los metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación de los organismos del suelo, es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Aún así, hay que tener en cuenta que también la presencia de abundantes complejos puede reducir la concentración de los iones tóxicos en la disolución del suelo.

La materia orgánica representa una parte pequeña en peso de un suelo y sin embargo juega un importante papel al determinar la fertilidad del suelo. Sirve como fuente de alimento a los vegetales y microorganismos y participa en diversos procesos químicos edáficos afectando a las propiedades físicas del suelo. A veces participa en los procesos de meteorización de la materia mineral movilizandoc cationes metálicos y facilitando nutrientes a los organismos vivos.

El humus corresponde a aquel conjunto de sustancias poliméricas, de coloración que va de amarilla a marrón negruzca, cuyas moléculas tienen pesos moleculares altos y que son resistentes a la descomposición. La mayor parte es insoluble, siendo esta la razón por la que se acumula en los horizontes más superficiales del suelo.

La variación del contenido en materia orgánica en gran medida depende del tipo de cultivo del suelo o tipo de vegetación así como de la estación del año. En suelos arenosos, aquellos con menos de un 10% de arcilla, normalmente suelen ser pobres en materia orgánica debido a una fuerte mineralización producida por una aireación



excesiva. En suelos con 10% - 30% de arcilla orgánica sean un poco inferiores a los de presencia de arcilla es de por sí suficiente par húmico.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

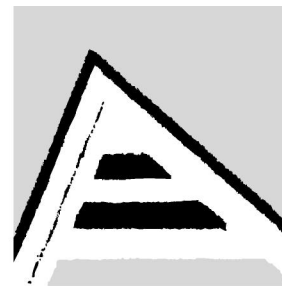
En cuanto a los suelos arcillosos, más del 30% de arcilla, los niveles de materia orgánica suelen ser altos, por mineralización deficiente debida, a falta de aireación, y por eso mismo interesa además mantener niveles lo más altos posibles con el fin de favorecer esta aireación, creando un complejo arcillo-húmico equilibrado en ambos componentes. En resumen podemos concluir que la materia orgánica ejerce una influencia importante en las propiedades del suelo. Sus efectos más beneficiosos son:

- Contribuye de modo importante al crecimiento de la vegetación, proporcionando elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y azufre en cantidades importantes.
- Es una fuente de energía para los microorganismos.
- Regula la disponibilidad de muchos cationes metálicos que actúan como micronutrientes y de cationes tóxicos mediante la formación de complejos estables.
- La presencia de funciones ácidas en muchas de las moléculas de la materia orgánica favorece una acción tamponante ayudando al mantenimiento del pH.
- Capacidad de retención de agua, con lo que evita la desecación.
- La fracción húmica, debido a su capacidad adherente, favorece la formación de agregados, mejorando la estructura granular del suelo, favoreciendo la permeabilidad y aumentando la aireación.

La materia orgánica determinada en el suelo puede ser la total, que incluye residuos sin transformar o bien la correspondiente al "humus estable" que resulta ser más significativa. En el primer caso se emplea un método de calcinación y en el segundo el método de Walkley-Black (1974).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Se define como el número de moles de iones de carga positiva adsorbidos, que pueden



ser intercambiados por unidad de masa a temperatura, presión, composición de la fase líquida (Sposito, 1989)

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y de su radio iónico hidratado, a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

La CIC de un suelo variará de horizonte a horizonte y en cada uno de ellos dependerá del tipo de arcillas y de los componentes orgánicos.

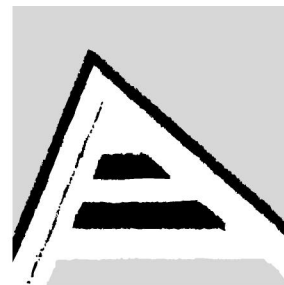
Dado que la carga neta procede de cargas permanentes y de cargas variables, la CIC depende del pH, lo que se hace notorio en aquellos horizontes con una proporción elevada de cargas variables. Por ello, el valor obtenido por la CIC de un suelo ácido será menor si se determina al pH del suelo, que si se utilizan soluciones tamponadas a mayor pH.

Potencial redox.

La disponibilidad y movilidad de los metales pesados en el suelo, depende del estado de oxidación en que se encuentren y por tanto del potencial redox del suelo en unión a la variación del pH. La solubilidad de los metales depende del pH pero no son las mismas en condiciones oxidantes o reductoras. Según Kiekens (1984), la solubilidad de cinc, cadmio, cobre y plomo es mucho menor en condiciones reductoras que en condiciones oxidantes cuando se encuentran en medio ácido, probablemente debido a la formación de complejos organominerales y a la formación de sulfuros.

Carbonatos.

Los carbonatos minerales son componentes mayoritarios de los suelos carbonatados y constituyen importantes superficies de adsorción para metales pesados. Su presencia puede tener efectos directos e indirectos sobre la movilidad y reactividad de los metales



pesados: directa a través de las interacciones
efecto sobre el pH del suelo.

Universitat d'Alacant

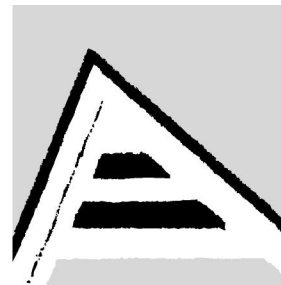
El carbono de los carbonatos del suelo, en presenta en forma de carbonatos poco solubles de metales alcalinoterreos, como CaCO_3 (calcita), $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (dolomita). Aparecen en fragmentos de dimensiones variables, desde pedruscos y guijarros hasta polvo fino. Un suelo es calizo a partir de un 10% de carbonato cálcico, existiendo exceso de caliza cuando este valor supera el 20%.

Cuando un suelo es calizo influye en primer lugar en la textura, ya que favorece la rápida destrucción de la materia orgánica del suelo contribuyendo al empobrecimiento en humus. Además, eleva el pH por encima de 7 bloqueando en formas insolubles ciertos elementos nutrientes indispensables para la planta, como el hierro, dando lugar en este caso a la llamada "clorosis férrica". Otros micronutrientes afectados de la misma manera son el manganeso, zinc y cobre, produciéndose en estos casos lo que se denominan enfermedades "carenciales". También el fósforo se ve afectado por la caliza que lo retrograda a formas insolubles. De manera parecida también se ven afectados el potasio y el magnesio.

Cationes Intercambiables

La carga negativa predominante de los coloides del suelo produce la retención de cationes y reduce su pérdida por lixiviación dejándoles disponibles para la vegetación sobre todo los iones sodio, potasio, calcio y magnesio los cuales debido a su tamaño y baja carga precipitan con mucha dificultad (Yagodin, 1986).

Estos iones permanecen adsorbidos en las partículas coloidales, con lo que puede intercambiarse por otros iones de la disolución del suelo, por ello se denominan intercambiables. Se extraen normalmente con una disolución de acetato amónico a $\text{pH}=7$. Como los valores de los cationes solubles son tan pequeños, muchas veces se equipara el valor del catión extraíble al del catión intercambiable ya que su resta apenas



cambia el resultado

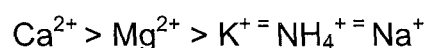
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Se pueden distinguir de los iones solubles

extraen con una disolución de una sal neutra

Cabe distinguir además los iones fijos, como los que están muy unidos a los silicatos, de tal manera que no se pueden recuperar por medio de procesos de intercambio como es el caso del potasio en las micas.

Por lo general en suelos productivos el orden de iones intercambiables según la abundancia es el siguiente:

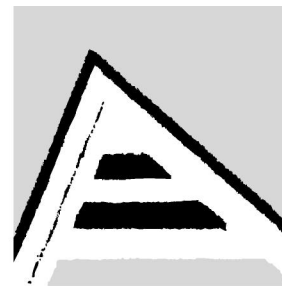


La importancia de estos cationes no es solo como parte del complejo de cambio sino también como elementos nutritivos, mantenimiento de la actividad biológica, estructuración del suelo y neutralización de la acidez del suelo (Yagodin, 1986).

Sodio.

Aunque la falta de sodio no se considera un problema, cuando se encuentra en exceso en los suelos si puede serlo por su exceso. Los suelos sódicos están sometidos a la influencia de una capa de agua salada poco profunda, rica en sales de sodio; la sal sube por ascenso capilar. En estos suelos, la presencia del catión Na^{+} satura el complejo de cambio y su concentración es mayor que la de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Los suelos sódicos poseen características físicas inadecuadas, por su facilidad de formar suspensiones coloidales (Rubin, 1984).

Los suelos alcalinos son suelos con salinidad débil o nula, pero ricos en sodio de cambio y dependen del agua atmosférica. Las disoluciones del suelo no contienen sales neutras sino sales alcalinas (carbonatos, bicarbonatos de sodio), sales que elevan fuertemente el pH (superior a 8,5 y a veces 9 ó 10).



Potasio

El potasio puede encontrarse en el suelo en

ligado a los minerales primarios o parcialmente

suelo, la concentración de K^+ es generalmente de unas pocas partes por millón. Los valores más frecuentes son de 0.04mg/g a 0.2mg/g, aunque en ocasiones pueden encontrarse más de 2mg/g.

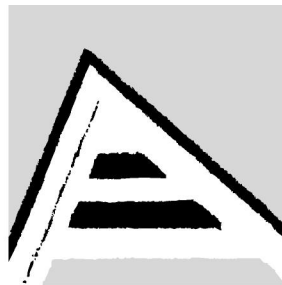
El potasio puede perderse por lavado y por erosión. También puede ser fijado por minerales arcillosos, quedando disponible lentamente.

La pérdida por lavado depende del clima y de la naturaleza del suelo: los suelos con gran capacidad de cambio tienen menores pérdidas que los arenosos. En climas lluviosos y en suelos con poca capacidad de cambio, las pérdidas de potasio pueden ser grandes. Sin embargo, en general, la concentración de potasio es constante para una profundidad de 90cm.

Así como el fósforo, el potasio se redistribuye fácilmente de los órganos maduros a los más jóvenes. A diferencia del fósforo, el potasio no forma parte estructural estable de ninguna molécula dentro de las células de la planta, a pesar de lo cual, cosa sorprendente, la planta necesita grandes cantidades de este elemento para un crecimiento y desarrollo normal. Es un elemento esencial porque actúa como activador de muchas enzimas. La síntesis de proteínas es un proceso que requiere grandes cantidades de potasio, aunque la exacta reacción química en que interviene no ha sido aun definida con certeza. Esto probablemente explique el hecho, conocido desde antaño, de que las plantas deficientes en potasio tienen un contenido bajo en proteínas, pero rico en los aminoácidos que forman parte de ellas (Yagodin, 1986; Vázquez, 1982).

Magnesio

Este elemento parece desempeñar por lo menos dos papeles importantes en las plantas verdes. Es parte integrante de la molécula de clorofila y por ello es esencial, y en su



ausencia se desarrolla clorosis entre las nerva

Se conoce, por ejemplo, su acción sobre rea (Cinosas). Probablemente el magnesio se com

de los enlaces. También actúa como activador

en la activación y síntesis de ácidos grasos, en la síntesis de nucleótidos purínicos y en muchas otras reacciones individuales. También es esencial que haya cantidades apropiadas de magnesio para mantener la estructura de los ribosomas, orgánulos subcelulares que llevan a cabo la síntesis de proteínas (Devlin, 1979; Sivori, 1980).

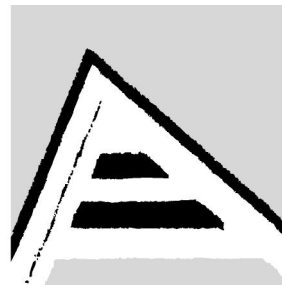
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los umbrales de carencia varían entre un 0.02-0.03% en suelos ligeros y un 0.04% en suelos pesados y en cultivos extensivos. No existen umbrales de toxicidad, sin embargo un exceso de K^+ puede provocar la carencia inducida de magnesio.

Calcio

Buena parte de este elemento se encuentra en la planta dentro de las vacuolas, donde a menudo precipita como cristales de oxalato de calcio. A veces se encuentran depósitos sólidos del oxalato de calcio y aun de carbonato de calcio a lo largo de los haces vasculares de la hoja, y en algunos casos probablemente se forman sales de calcio insolubles con iones sulfato y fosfato. También se encuentra calcio en las paredes celulares, donde se cree que forma sales relativamente insolubles al reaccionar con los ácidos pécticos de la laminilla media. Se piensa que esos pectatos de calcio actúan cementando entre sí las células de un tejido, lo cual de ser cierto, podrá explicar por qué la deficiencia del calcio causa una inhibición notaria en el crecimiento de brotes y también la muerte de los ápices de las raíces, donde la división celular es más activa.

Algunas enzimas como la amilasa, parecen requerir calcio como activador; pero en otros casos se ha observado que, por el contrario, tiene poco efecto estimulante, posiblemente por interferencia debido al magnesio. Posee un efecto favorable como estabilizante de la fracción húmica característico de los suelos con exceso de carbonatos, por tanto es un indicador de la capacidad nutricional. El calcio puede dar lugar a la formación de fosfatos solubles (fosfatos monocálcicos) pero un exceso de



calcio intercambiable origina la formación de férrica en los vegetales. Sin embargo, posee arcillas y contribuye ampliamente a la orgánica; estabilidad del mismo (Devlin, 1979; Sivori, 1980).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

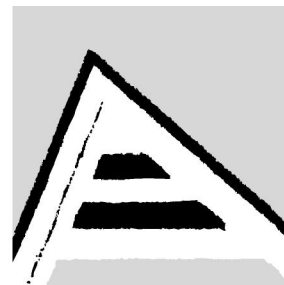
Otros elementos: **Fósforo:**

El fósforo es vital para el metabolismo de la planta. En las hojas tiernas de tabaco, alrededor de un 30% de fósforo está presente en forma de ácido ribonucleico y un 7% como ácido desoxirribonucleico. La fotosíntesis, la fosforilación y los procesos vitales subsecuentes vinculados al ciclo de Krebs, como metabolismo del nitrógeno, hacen del fósforo uno de los elementos más importantes en el crecimiento de la planta. La movilidad del fósforo en el suelo es bastante pequeña y muchos suelos tienen la propiedad de fijarlo en forma relativamente inasequible para las plantas.

La planta joven empieza a absorber fósforo en una fase muy temprana, por lo que dada la escasa movilidad de este en el suelo se debe efectuar una aplicación cuidadosa antes o en el momento de plantar. Esto permitirá un uso más eficiente de los fertilizantes fosfatados (Sivori, 1980).

Hierro:

Las plantas deficientes en hierro se caracterizan por el desarrollo de una pronunciada clorosis internerval, similar a la causada por las deficiencias de magnesio, pero en las hojas jóvenes. Una vez que el átomo de hierro ha sido incorporado a un órgano su distribución es extremadamente limitada. Algunas plantas presentan problemas de clorosis de hierro en suelos calcáreos, por lo cual se han hecho muchos esfuerzos para explicarlo. La teoría más simple es la que señala que el carbonato de calcio del suelo vuelve al hierro tan insoluble que las plantas no logran absorber cantidades suficientes. Sin embargo, en algunos casos se encontró que las plantas que sufren este tipo de clorosis tienen un contenido total de hierro igual (y a veces superior) al de las plantas normales. Eso indicaría que no es la cantidad de hierro presente en la planta la que determina su estado nutricional, sino posiblemente una afección activa de aquel. Es



posible que parte del hierro de esas plantas es un comportamiento en el cual no puede cumplir (1980).

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Manganeso:

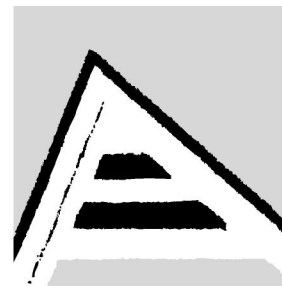
El manganeso existe en el suelo en varios estados de oxidación, pero se considera que se absorbe mayormente como ion bivalente. Parece ser que el elemento en ese estado es más estable en la planta. No son muy comunes las deficiencias de manganeso, pero a veces se presenta junto con una deficiencia de hierro. Esto ocurre cuando hay exceso de carbonato de calcio en el suelo. Los síntomas iniciales consisten a menudo en una clorosis internerval en las hojas viejas o jóvenes, según la especie, asociada con lesiones necróticas (Vázquez, 1982; Sivori, 1980; Devlin, 1979).

Boro:

El boro se absorbe del suelo principalmente como ion BO_3^{2-} soluble. El boro es bastante inmóvil y se redistribuye muy pobremente de un tejido u órgano a otro. En contraste con otros elementos esenciales, la función del boro en las plantas no está aun bien definida. Se ha sugerido que actúa en el traslado de hidratos de carbono y está bien establecido que el movimiento de azúcares por el floema es realmente reducido cuando el nivel de boro es bajo. Parece ser, sin embargo, que este elemento tiene también otras funciones, como por ejemplo favorecer la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Vázquez, 1982; Sivori, 1980; Devlin, 1979).

Cobre:

Las plantas raramente presentan deficiencias de cobre. Las hojas jóvenes se tornan a menudo de un color verde oscuro y retorcidas o deformadas pueden provocar la muerte a las hojas jóvenes. El cobre se absorbe principalmente como ión cúprico o cuproso. Probablemente exista en las plantas sobre todo en forma cúprica, a pesar de que sufren oxidaciones y reducciones alternadas pues actúa como transportador de electrones, principalmente con enzimas llamadas polifenoloxidasas. Forma parte de la plastocinina, un compuesto que integra la cadena fotosintética de transporte de electrones, y tal vez



de la nitrito-reductasa. Podría también desempeñar un papel en la asimilación de nitrógeno y en otros procesos químicos de la planta (Eijja Pätsikkä, et al. 2002).

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Zinc:

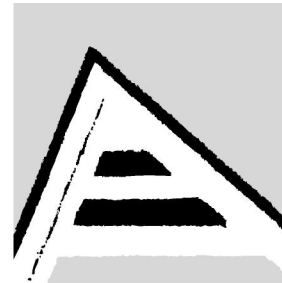
Ocupa el segundo lugar en un grupo de micronutrientes que forman parte de estructuras enzimáticas. Aparte la distinción de síntomas de deficiencia, la situación es muy parecida a la descrita para el cobre. Todavía no se ha observado carencia en el terreno en lo que se refiere al tabaco, y las cantidades requeridas son muy pequeñas. Una función importante del zinc es su relación con la hormona del crecimiento llamada auxina. La conexión con desarrollo y movilidad en la planta se reflejan en el hecho de que los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más antiguas. El exceso de zinc es tóxico, pero los síntomas no han sido descritos (Podar, et al., 2004).

Plomo:

La presencia del Plomo como contaminante puede producir en las plantas una inhibición del crecimiento, de la fotosíntesis y de la acción enzimática. El Plomo es un metal pesado que, hasta donde se sabe, no cumple ninguna función fisiológica normal en el hombre, se distribuye ampliamente y de forma natural en el ambiente, y posee una gran cantidad de usos. En los últimos diez años los contenidos de plomo de los productos alimenticios se han reducido debido a los esfuerzos realizados para reducir la emisión del plomo en su origen (Wagner 1986).

El plomo es uno de los contaminantes que se encuentra más ampliamente distribuido en la naturaleza. La deposición atmosférica de Plomo en los vegetales es la vía principal de entrada de éste metal en la cadena alimentaria, mientras que apenas existe incorporación desde el suelo a través de las raíces de las plantas.

Los agentes y las vías de contaminación por metales pesados en las aguas residuales de origen urbano son igualmente diversos, destacando los vertidos ilegales a la red de alcantarillado de aceites lubricantes usados con alto contenido de plomo.



Cadmio

El Cadmio no es un elemento esencial por sus concentraciones relativamente bajas, incluso a

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

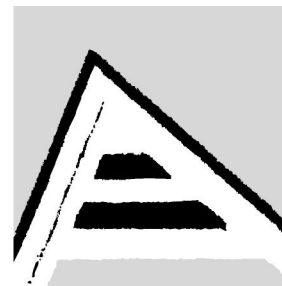
Cd añadido al suelo puede elevar drásticamente el nivel de Cd en los tejidos vegetales. El contenido de Cd podría llegar a ser un factor limitante en la aplicación de algunas aguas residuales a la tierra, especialmente en cultivos para el consumo de las personas y de los animales (Olson y Guinn, 1978; Crook, 1984). Westcot y Ayers, (1985) fijan la concentración máxima de Cd en 0,01 mg/l considerando un riego de 1.200 mm/año (Ayers y Westcot, 1987).

En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos. El contenido de metal fácilmente liberable y por tanto disponible para las plantas y otros organismos, recibe el nombre de metal biodisponible. La determinación de la forma química en que se encuentra presente un metal recibe el nombre de especiación.

Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes y también los geles van envejeciendo y se van volviendo más cristalinos.

En general, se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial, seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad, es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

Esto pone de manifiesto el interés que el análisis por horizontes, llevado a cabo en el segundo estudio tiene a la hora de establecer que la concentración fondo no es debida



a contaminación exterior. Un ejemplo de estudio en cuenta el horizonte de pertenencia de las m por Alonso Martirena (1998) y Abollino et al., (20

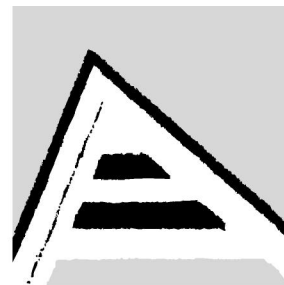
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

1.4.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SUELOS.

Desde el punto de vista analítico, conviene resaltar el hecho de que no existe acuerdo sobre el método para la determinación del contenido en metales pesados de un suelo. La elección y el desarrollo del procedimiento de medida viene determinado por los objetivos fijados para cada estudio en concreto, de esta forma el procedimiento será diferente al determinar la contaminación de una zona, realizar la caracterización de un suelo o bien, estudiar las diferentes formas químicas, especiación, en las que se encuentra el metal. El procedimiento también varía cuando se trata de determinar el contenido total en suelos, o bien se determina únicamente el contenido biodisponible o extraíble.

En todos los casos, el procedimiento de análisis consta de una serie de etapas que deberán desarrollarse sucesivamente hasta alcanzar el objetivo propuesto. Estas etapas que van desde el muestreo hasta la presentación de los resultados, pasando por el pretratamiento de la muestra son igualmente importantes (Quevauviller y Rauret, 1994) y resultan determinantes para garantizar la representatividad y fiabilidad de los resultados en los estudios de contaminación y de evaluación de la calidad del suelo (Theocharopoulos et al., 2001). La importancia de estas etapas justifica su estudio con mayor profundidad.

La estrategia de muestreo desarrollada en cualquier estudio o investigación medioambiental es muy importante para la interpretación de los resultados obtenidos. Asegurar la reproducibilidad de los resultados es clave para comparar resultados de suelos de diferentes localidades. Si se tiene en cuenta que en numerosas ocasiones estos resultados corresponden a muestras obtenidas, tratadas y analizadas por diferentes personas y en algunos casos utilizando diferente metodología, resulta obvio



la necesidad de llevar a cabo una armonización
de muestreo dentro del procedimiento general

Universitat d'Alacant

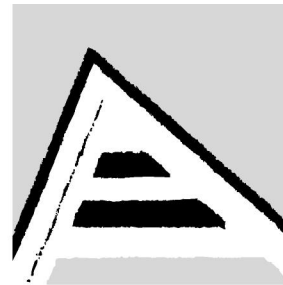
En el pretratamiento de la muestra se incluye Universidad de Alicante

para mantener la muestra de suelo inalterada o en su defecto que permitan una mayor estabilidad de la misma. Dentro de este apartado se han considerado la operación de secado al aire (Ure, 1994) que facilita el manejo de la muestra y aumenta su estabilidad en el tiempo y el tamizado menor que 2mm, operaciones que se utilizan en la mayoría de las determinaciones de metales pesados en suelos.

En este sentido, el procedimiento a seguir varía dependiendo de si se trata de la determinación de contenidos totales o bien se pretende determinar niveles disponibles o móviles. En el primer caso el procedimiento consistiría en una digestión, mientras que en el segundo caso se trataría de la extracción de la muestra con un reactivo líquido adecuado. Ambos procedimientos difieren tanto en el reactivo seleccionado, como en el tratamiento al que se somete la muestra y conducen a resultados cuya valoración es claramente distinta.

El contenido total de metales pesados en suelos es el parámetro utilizado en el establecimiento de los niveles fondo (background) y niveles de referencia. No resulta representativo en el establecimiento de la contaminación por metales pesados, pero resulta indicativo acerca de si la muestra presenta concentraciones elevadas. También resulta de utilidad en el análisis de suelos con alta Capacidad de Intercambio Catiónico, tal y como establece Gupta (1984), ya que al analizar la solución del suelo puede ocurrir que los niveles de metales pesados encontrados no sean excesivos, dado que se encuentran adsorbidos, por lo que deberá determinarse el contenido total.

La determinación del contenido total de metales pesados en muestras de suelos requiere realizar un tratamiento energético de la muestra, normalmente en caliente. Este tratamiento se realiza normalmente por fusión o por digestión ácida empleando una mezcla de ácidos minerales en caliente.



Los sistemas de calentamiento utilizados, también encontrar que se ha utilizado el baño de arena reactores a presión (Kowalewska et al., 1998; de aluminio (Ansorena et al., 1995; Tam y Yao, 1999).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

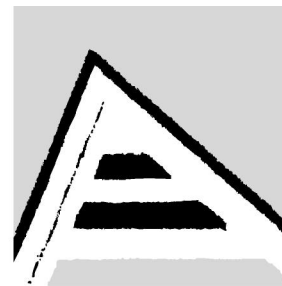
La introducción del tratamiento con microondas, tanto en sistemas abiertos como cerrados, ha supuesto una considerable reducción en el tiempo total de análisis, así como una reducción en el riesgo de contaminación, tal y como se pone de manifiesto en los estudios llevados a cabo por Jin et al., (1999). Además este tratamiento en abierto facilita la evaporación a sequedad, reduciendo de esta forma los problemas analíticos asociados a la presencia de concentraciones elevadas de ácido (Smith, 1996; Nakhasima, 1998).

Cuando se pretende realizar una digestión total, es necesario el empleo de HF, pero es un tratamiento largo y peligroso.

Desde la existencia del método ISO 11446 (ISO 11446, 1995), la extracción con agua regia es uno de los métodos mas utilizados, bien empleando reflujo (Ansorena et al., 1995), o con el empleo de calentamiento por microondas (Florian et al., 1998; Betinelli et al., 2000).

La US EPA (Environmental Protection Agency) ha recomendado el empleo del ácido nítrico asistido por microondas (EPA method 3051, 1994) para la determinación en sedimentos y suelos de los siguientes metales: Al, Sb, As, B, Ba, Be, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Ag, Na, Sr, Ta, V y Zn. El método consiste en el tratamiento de 0,5 g de suelo con 10 ml de ácido nítrico concentrado y calentamiento durante 10 minutos mediante microondas.

Recientemente, Sastre et al., (2002), han llevado a cabo la validación y comparación de tres métodos de digestión para la determinación de Cd, Zn, Cu y Pb en distintas



muestras medioambientales: digestión con tratamiento convencional con agua regia y freidora de microondas, encontrando resultados cuando la determinación se lleva a cabo en

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

orgánica, mientras que en muestras con alto contenido en materia orgánica los resultados de la digestión con HF concuerdan con los obtenidos mediante el ataque con ácido nítrico cuando se analiza Cd, Zn, y Pb, pero son superiores en el caso del Cu.

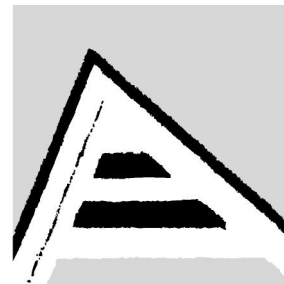
Sandroni et al., (2003), han desarrollado una técnica de digestión con una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico mediante microondas para la determinación de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cr, Cd, Cu, Pb y V en suelos y sedimentos y los resultados obtenidos al aplicarla a diferentes materiales de referencia muestran que el método propuesto conduce a buenos resultados. En este trabajo se ha utilizado el método de digestión total con ácido nítrico.

Determinación del contenido biodisponible

La cantidad total de metal pesado en un suelo, resulta una medida poco representativa de su toxicidad y disponibilidad. Existen diferentes formas químicas en las que estos metales se pueden encontrar. En suelos no contaminados están principalmente unidos a silicatos y a minerales primarios formando especies relativamente inmóviles, mientras que en suelos con contaminación antropogénica los metales se unen a otras fases del suelo presentando mayor movilidad.

La determinación de las diferentes formas químicas en las que un elemento se encuentra dentro del suelo (Ure y Davidson, 1995), proporciona mayor información sobre la movilidad y por tanto su disponibilidad para la planta, pero esta determinación es difícil e incluso imposible en algunos casos.

Se han desarrollado algunas aproximaciones para caracterizar la disponibilidad de los distintos metales, que o bien se basan en provocar la desorción de estos elementos de la fase sólida del suelo o bien en la adsorción de contaminantes desde una disolución



que los contiene hacia el suelo. De entre es
duda los que estudian la desorción de los n
líquido determinado. En esencia, se trata de
de otros según sean las propiedades que
modalidad operativa empleada, el tipo de suelo y la naturaleza del elemento a
determinar.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

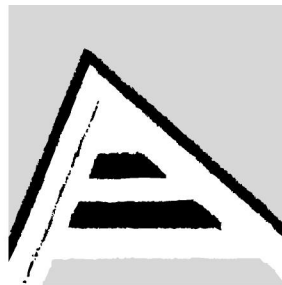
Los métodos desarrollados en este sentido pueden a su vez agruparse en dos grandes
grupos: los procedimientos de extracción simple y los procedimientos de extracción
secuencial también llamados esquemas de extracción, estos últimos también se
denominan esquemas de especiación.

Los procedimientos de extracción simple consisten en la extracción de una muestra de
suelo común único agente extractante. En los procedimientos de extracción secuencial
se aplica sobre la misma muestra de suelo y de manera sucesiva distintos agentes
extractantes con propiedades diferentes.

El número de métodos propuestos correspondientes a cada grupo, simple y secuencial,
es muy elevado y resultan diferentes entre sí, tanto en el tipo y características del
extractante propuesto, como en las condiciones de realización. La naturaleza del
extractante y los diferentes procedimientos empleados han sido objeto de revisión por
diferentes autores entre los que destacan Pickering (1986); Lebourg et al., (1998);
Rauret (1998) y Sahuquillo et al., (2003).

Procedimientos de Extracción Simple.

En la bibliografía pueden encontrarse un gran número de estudios de contaminación de
suelos por metales pesados en los que se utilizan los procedimientos de extracción
simple. Entre ellos cabe citar los realizados por Lindsay y Norwell (1978); Lake et al.,
(1984); Gupta y Aten (1993); Ure et al., (1993); Ure (1996), Singh et al., (1996) y
Novozamski et al., (1993). Los esquemas de extracción simple desarrollados se
agrupan en cuatro grandes grupos atendiendo a la naturaleza del extractante empleado:



extracción ácida, agentes complejantes, disoluciones tamponadas.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

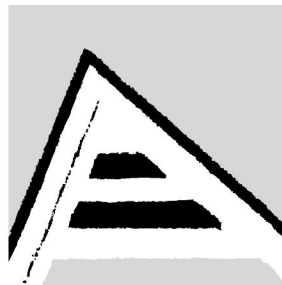
La Tabla 1.3 recoge algunos de los procedimientos de extracción simple más utilizados.

Puede observarse, que existe un amplio espectro de reactivos extractantes, de forma que encontramos desde ácidos muy fuertes como agua regia, ácido nítrico o ácido clorhídrico hasta disoluciones neutras de sales de pH no tamponado como es el caso del cloruro cálcico o nitrato sódico.

Tabla 1.3.- Procedimientos de extracción simple más utilizados. Adaptado de Rauret, 1998

Grupo	Reactivo extractante	Autor
Extracción ácida	HNO ₃ 0,43 – 2 M Agua regia HCl 0,1 – 1 M CH ₃ COOH 0,1 M HCl 0,05 M + H ₂ SO ₄ 0,0125 M	Novozamski et al., 1993 Colinet et al., 1983 Novozamski et al., 1993 Ure et al., 1993 Mulchi et al., 1992
Agente complejante	EDTA 0,01 – 0,05 M a diferentes pH DTPA 0,005 M + TEA 0,1 M CaCl ₂ 0,01 M	Novozamski et al., 1993 Lindsay y Norwell, 1978 Novozamski et al., 1993
Disoluciones tampón	NH ₄ AcO/HAcO 1 M tamponado a pH=7 NH ₄ AcO/HAcO 1 M tamponado a pH=4,8	Ure et al., 1993 Novozamski et al., 1993
Disoluciones salinas no tamponadas	CaCl ₂ 0,1 M CaCl ₂ 0,05 M CaCl ₂ 0,01 M NaNO ₃ 0,1 M NH ₄ NO ₃ 1 M AlCl ₃ 0,3 M BaCl ₂ 0,1 M	Novozamski et al., 1993 Novozamski et al., 1993 Novozamski et al., 1993 Gupta, 1993 Novozamski et al., 1993 Hughes y Noble, 1991 Juste y Solda, 1998

Los reactivos pertenecientes a los grupos extractantes ácidos, o formadores de complejos, son probablemente los más utilizados para la extracción ya que dan lugar a compuestos bastante estables y solubles en agua con un número elevado de cationes.



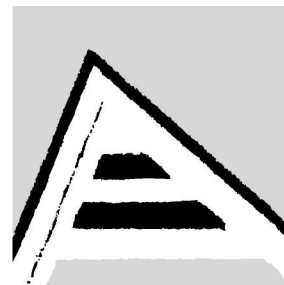
Además de los reactivos mencionados en la T como extractante para la determinación de b sódico para valorar la influencia de la materia pesados.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Teniendo en cuenta que solo se han recogido los métodos más utilizados y por tanto, que el número de los existentes es bastante mayor, cabría preguntarse cuál es la razón de esta diversidad de métodos. La razón debe buscarse en la complejidad de los mecanismos y de las reacciones en los que los metales pesados intervienen como son los equilibrios de disolución, adsorción y complejación por lo que encontrar un extractante que defina y represente perfectamente la forma química y la movilidad de un metal en el suelo es prácticamente imposible. Si además buscamos un reactivo que represente la capacidad de adsorción por parte de las raíces de las plantas para varios elementos simultáneamente, aún resulta más complicado de conseguir.

En este sentido Singh y Narwal (1984), realizaron un estudio comparativo entre la acción de distintos extractantes para la determinación del contenido de Cd, Pb, Zn, Co, Ni en un suelo ácido ($\text{pH} = 5,6$) y el nivel del elemento en planta de colza. El orden de extractabilidad obtenido es: $\text{HNO}_3 > \text{agua regia} > \text{HCl} > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NH}_4\text{AcO}$ a $\text{pH} 4,8 > \text{NH}_4\text{AcO}$ a $\text{pH} 7 > \text{DTPA} = \text{CaCl}_2 = \text{TEA}$. El estudio de las correlaciones con los niveles en planta pusieron de manifiesto que en el caso de Zn, Co, y Ni no existía una buena correlación con ninguno de los reactivos probados, aún así propusieron el uso del DTPA ya que mostraba una buena correlación para plomo y cadmio.

El objetivo perseguido y claramente inalcanzable en todo caso, es el de obtener un extractante universal que permitiera determinar el contenido biodisponible de un gran número de metales, que los resultados proporcionados estuvieran perfectamente correlacionados con los niveles detectados en planta, y por lo tanto que los resultados obtenidos de diferentes estudios pudieran compararse.



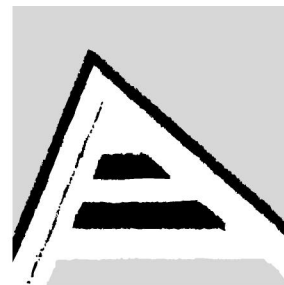
De esta forma y a través de trabajos en extractantes mas adecuados para la detección de metales pesados. En este sentido y gracias al desarrollo de las evidencias respecto a que el contenido de metales correlaciona con el disponible para las plantas, es el metal denominado intercambiable, hace que los procedimientos en general mas aceptados, sean aquellos que utilizan reactivos extractantes menos agresivos.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Estos reactivos denominados extractantes suaves, están constituidos por disoluciones de sales no tamponadas, algunas disoluciones diluidas de ácidos y determinados agentes complejantes. La razón de su utilización estriba en que las sales neutras disuelven principalmente el metal intercambiable, aunque debe tenerse en cuenta las características del anión. Los ácidos diluidos y los agentes complejantes extraen, a veces parcialmente, el metal intercambiable, unido a carbonatos, unido a óxidos de hierro y manganeso y a la materia orgánica.

Actualmente se acepta el hecho de que los extractantes no son selectivos y que cualquier variación en el procedimiento analítico tiene efectos significativos sobre los resultados obtenidos. En base a estas consideraciones algunos países han estudiado la posibilidad de adoptar determinados procedimientos como oficiales.

La disparidad de métodos existentes en los distintos países europeos, pone de manifiesto la necesidad de unificar criterios. Desde 1987, el EC Standards Measurement and Testing Programme, antiguamente BCR (Bureau Community of Reference) ha subvencionado diversos proyectos destinados a conseguir el aseguramiento de la calidad y la armonización de los métodos de medida y ensayo de contaminantes en suelos en los distintos países, en cuanto al muestreo, el pretratamiento de la muestra y el análisis de suelos (Quevauviller 1995, 1998; Quevauviller y Maier 1995; Rubio y Vidal, 1995; Theocharopoulos et al., 2001; Wagner et al., 1998, 2001; Rauret 1998; Sahuquillo et al., 2003), adoptando como reactivos para la determinación del contenido disponible de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn, el ácido acético



0,43M y EDTA 0,05M en suelos minerales.

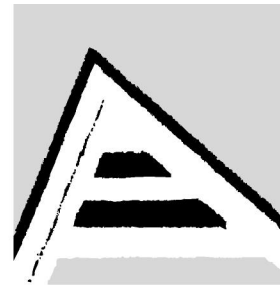
Estos estudios se han realizado no sólo por métodos, sino como punto de partida para la certificación de los distintos metales pesados que permitan llevar a cabo la validación de los diferentes procedimientos analíticos (Quevauviller et al., 1994).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Sahuquillo et al. (2003) han llevado a cabo un estudio comparativo de extractantes de los tres grupos principales: los denominados suaves (CaCl_2 y NaNO_3), ácidos (ácido acético) y complejantes (EDTA) en muestras de suelos con distinto origen y características.

De la comparación de los dos extractantes suaves concluyen que, aunque para la mayor parte de los metales pesados los resultados son similares, en el caso del cinc y el cadmio, es recomendable la utilización de CaCl_2 frente a NaNO_3 ya que el CaCl_2 solubiliza niveles mas altos de estos metales, por lo que a la hora de valorar un posible riesgo, resulta un criterio mucho más restrictivo. La causa de la mayor solubilidad, se explica por el hecho de que estos metales son adsorbidos normalmente en posiciones de catión intercambiables, de las cuales son fácilmente desplazados por iones divalentes como el Ca^{2+} . Además la presencia de cloruro facilita el desplazamiento al formar complejos con esos metales.

Por otro lado consideran, que el EDTA y el ácido acético proporcionan información adicional sobre el efecto de complejación o de acidificación ocurrido en la extracción del metal pesado. Dichos autores opinan, que los valores mas altos obtenidos en la extracción de Cu y Pb cuando se utiliza EDTA, se debe a que esos dos elementos son mas fácilmente movibles de sus posiciones, cuando se utiliza un complejante que cuando se utiliza un ácido, debido a la estabilidad de los complejos que forman con el EDTA. Por tanto la determinación de la disponibilidad de Pb utilizando EDTA da lugar a una sobreestimación.



Por otra parte, afirman que la utilización de α -EDTA 0,43M es la mas apropiada para la extracción de metal disponible de metal en el suelo cuando la biodisponibilidad de metales en suelos pre-establecidos. La concentración utilizada 0,43M es la mas apropiada para suelos.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

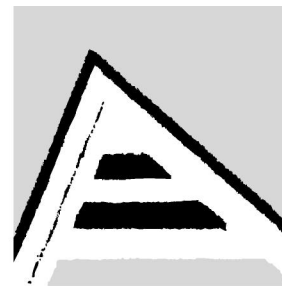
En este sentido la adopción en nuestro estudio de Ácido acético 0,5M como reactivo extractante para la determinación del contenido biodisponible de Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Co en suelos, resulta adecuado ya que permitirá comparar resultados de otros estudios de características similares.

Por último comentar, que Tipping et al., (2003), en un estudio llevado a cabo para determinar la distribución de Cu, Zn, Cd, y Pb en suelos de Inglaterra y Gales han encontrado que los contenidos de metal medidos en extractos obtenidos con HNO_3 0,43M son similares a los valores obtenidos en extractos con EDTA 0,1M. En la actualidad, algunos extractantes de los comentados hasta ahora, no se utilizan únicamente como reactivos en la extracción simple, sino que se están utilizando también en procesos de descontaminación de suelos. Este es caso del estudio realizado por Xueyi e Inoue (2003), en el que se analiza la aplicabilidad de dos extractantes: EDTA y ASDA, con el fin de eliminar metales presentes en suelos contaminados encontrando que el ASDA es el mejor sustituto del EDTA, utilizado con mas frecuencia porque posee similar capacidad de complejación y superior biodegradabilidad.

1.4.3.- OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

Realizado el pretratamiento de la muestra a analizar, es necesario determinar el contenido de los metales pesados, para lo cual se seleccionará la técnica analítica más adecuada a cada tipo de elemento y al intervalo de concentración existente.

Históricamente las técnicas mas empleadas en la determinación de los metales pesados en muestras medioambientales, son la Espectroscopía de Absorción Atómica



de llama y Horno de grafito (FAAS), Espectros técnicas Polarográficas, en concreto las técnicas tanto anódica como catódica y de las cuales bibliográficas respecto a su utilización.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

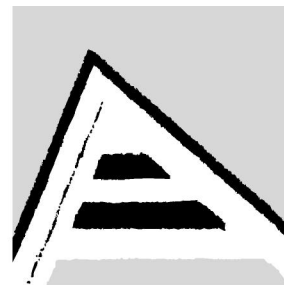
La utilización de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al reconocimiento del origen e identificación de las pautas químicas se ha convertido en una herramienta cada vez más importante para caracterizar aire, agua, suelo, sedimentos y suelos contaminados por compuestos químicos complejos (Wenning y Erickson, 1994, Massart et al., 1998).

De entre estas técnicas destacan las técnicas multivariantes principalmente el Análisis por Componentes Principales (ACP), el Análisis Discriminante y el Análisis Cluster (AC).

El ACP y los métodos derivados se han usado ampliamente en aplicaciones geoquímicas para la identificación de las causas de contaminación y la diferenciación entre el aporte natural frente a la contribución antrópica.

1.5.- VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE UN SUELO. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES FONDO Y NIVELES DE REFERENCIA.

Al abordar un estudio de caracterización de contaminación de suelos potencialmente contaminados por altos contenidos en metales pesados, no es suficiente con determinar estos contenidos, sino que es necesario conocer y definir los máximos niveles admisibles por estos suelos. Estos niveles están directamente relacionados con la respuesta del suelo ante el metal, respuesta que a su vez depende de características como la vulnerabilidad o grado de sensibilidad de un suelo, el poder de amortiguación, la movilidad, la biodisponibilidad, la persistencia y la carga crítica, factores que pueden modificar los "umbrales" generales de toxicidad para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas.



La concentración en la fase disponible o a peligrosidad real en el momento de reali: concentración total es una medida de la peligrosidad de los cambios en las condiciones del mismo. Sin embargo, la calidad de un suelo, no es suficiente conocer el contenido total o disponible de los metales pesados estudiados, ya que la toxicidad debida a estos metales y elementos asociados es consecuencia directa de la concentración presente en las fases bioasimilables.

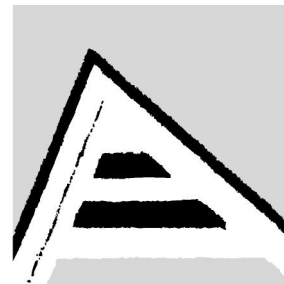
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En los apartados anteriores se ha estudiado como afectan los diferentes componentes y propiedades del suelo en la movilización de los metales pesados, de donde se deduce que el establecimiento de la contaminación no puede realizarse de manera genérica para todos los suelos, sino que hay que tener siempre presente el tipo, la composición y el uso actual o potencial de los mismos.

Teniendo en cuenta que la presencia de metales pesados en un suelo puede tener un origen natural o bien antrópico y que, a concentraciones bajas, o en formas químicas inmóviles estos metales no presentan peligrosidad, es necesario distinguir entre los denominados niveles fondo (background) y los niveles de referencia o carga crítica de un suelo, con el fin de decidir si existe o no contaminación, en función del uso al que está destinado (Hellman, 2002).

Los niveles fondo de los metales pesados se definen como la concentración presente de un metal pesado en un suelo no sometido a contaminación externa. Puede considerarse como el contenido de origen natural.

Los niveles de referencia representan la máxima concentración de metal admisible sin que se produzcan efectos adversos sobre los organismos biorrelacionados con él, por lo que en la determinación de los niveles de referencia, deberán tenerse en cuenta aspectos como la biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, sus propiedades físico-químicas y los usos a los que este suelo se destine.



Según Kabata Pendias (1995), el establecimiento de calidad de elementos traza para la valc constituye el principal requisito de calidad y ecológicas.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

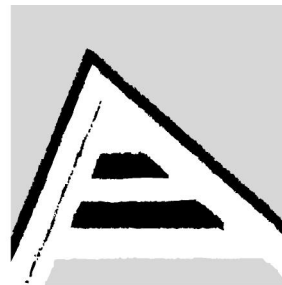
El establecimiento de estos niveles fondo y de referencia ha constituido el punto de partida en numerosos países para valorar la calidad de los suelos y elaborar inventarios de puntos contaminados.

En este sentido, en algunos países se ha evaluado la contaminación estableciendo cinco clases de suelos en función de los valores obtenidos:

1. Ligera
2. Moderada
3. Considerable
4. Muy contaminados
5. Extremadamente contaminados

En cada una de estas clases se diferencian tres grupos de suelos según su textura y pH. La clase 3, suelos considerablemente contaminados, presentará riesgo de contaminación para cosechas. La clase 4 corresponde a suelos que no deben usarse para la producción de plantas utilizadas en alimentación, sobre todo si se trata de suelos ácidos y de textura ligera. La clase 5 debería excluirse de cualquier uso agrícola y proceder, dentro de lo posible, a su limpieza.

En Holanda, se han llevado a cabo numerosos proyectos para evaluar la calidad de los suelos. Inicialmente se establecieron diferentes niveles de calidad. El nivel A se considera de referencia, representa el nivel por debajo del cual, es posible cualquier uso del suelo y por tanto supone nivel de riesgo desdeñable. Entre los niveles A y C la calidad del suelo está afectada, aunque este no pierde su multifuncionalidad. El valor C representa el nivel máximo permitido de forma que por encima de él, también denominado valor de intervención, se hace necesaria la limpieza de contaminantes.



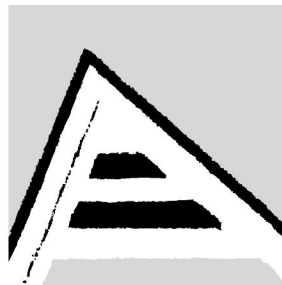
Los valores de referencia propuestos para r
fracción arcilla y/o el contenido en materia orga
mediante ecuaciones que correlacionan estos
metal, además establecen los valores absolutos para un suelo que denominan estándar
y que contiene un 25% de arcilla y un 10% de materia orgánica (Vegter, 1995).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En Estados Unidos la evaluación del riesgo en los diferentes ecosistemas recae en la Agencia de Protección Medioambiental, US EPA (U. S. Environmental Protection Agency) quien ha elaborado un documento "Soil Screening Guidance" (US EPA, 1996) desarrollado para acelerar y facilitar la evaluación y limpieza de suelos. En él, se proporciona la metodología para la determinación del riesgo y los niveles de exploración para contaminantes en suelos, de forma que permita la identificación de áreas necesitadas de una investigación mas profunda. En esencia se basan de nuevo en la política de la determinación o valoración del riesgo, para lo cual emplean la determinación de niveles fondo junto con el estudio de la toxicidad en las personas y en el medioambiente en general. Además dentro del programa "Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act", CERCLA (USEPA 2002), han elaborado un documento donde se establece el papel de los niveles fondo y la importancia que su determinación y conocimiento tiene en la política de valoración del riesgo.

En España, destacan los estudios llevados a cabo por el IHOBE (IHOBE, 1994). Este instituto ha desarrollado una metodología para la investigación de la contaminación del suelo, que contempla dos fases: la investigación exploratoria y la investigación detallada

Investigación Exploratoria, es la fase de investigación cuyo objetivo es confirmar, por un lado, la existencia de niveles de contaminación que supongan o puedan suponer un riesgo inaceptable para la salud humana y los ecosistemas y, por otro, la hipótesis de distribución espacial de la contaminación. Los datos obtenidos en esta fase deben permitir el diseño óptimo de la fase de Investigación Detallada.



Investigación Detallada, es la fase de investigación la información (caracterización espacial, contaminación, receptores potenciales, etc.) y la evaluación de los riesgos presentes y futuros derivados de la contaminación detectada.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La evaluación de riesgos es un elemento esencial de la Investigación Detallada de cara a tomar decisiones sobre posteriores medidas a implantar en el emplazamiento y se define el riesgo en función de la probabilidad de que un suceso adverso ocurra como resultado de la exposición a la contaminación del suelo, y de la magnitud de las consecuencias o impacto de dicho suceso sobre los objetos de protección (salud humana, ecosistemas, otros compartimentos ambientales, explotaciones agrícolas y forestales, infraestructuras, etc.).

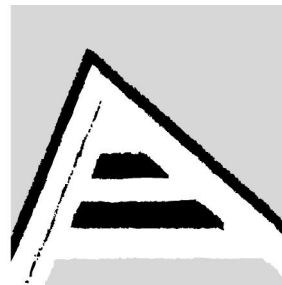
El valor de referencia se puede obtener mediante dos métodos: 1) Estableciendo las correlaciones entre arcilla y/o materia orgánica del suelo estándar (no contaminado) y los contenidos en metales. 2) Sumando a la media de valores o nivel de fondo, dos veces la desviación típica (S):

$$VR = x \text{ (valor medio)} + 2S$$

Este criterio se adopta cuando no hay correlación o esta no es significativa.

Navas y Machín (2002b), han realizado un estudio sobre la distribución de metales pesados en suelos, con el fin de conocer los contenidos presentes de forma natural en los suelos de la región, establecer los niveles de referencia y su relación con distintos parámetros edafológicos, encontrando que la principal fuente de variación es la litología de los suelos muestreados.

Puede concluirse que existe una gran diversidad de niveles o valores guía utilizados para caracterizar la calidad de un suelo potencialmente sometido a contaminación por metales pesados, pero en todos los casos se reconoce la necesidad de evaluar no solo el contenido natural de los suelos, sino también resulta necesario establecer la

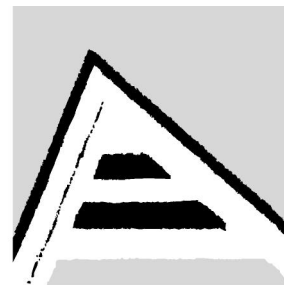


concentración límite de exposición razonable, e
riesgo, valoración que dependerá del tipo y car
destine.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

En todos los estudios analizados correspondientes a los distintos países, se pone de manifiesto que para el establecimiento de los niveles de referencia es necesaria la determinación de los niveles fondo de los suelos. En principio esta determinación puede realizarse mediante ecuaciones que relacionan la concentración con el contenido en materia orgánica o en arcillas, o determinando el contenido medio de las muestras analizadas, o relacionándolo con el contenido procedente del material parental determinado en horizontes más profundos.

Algunos autores consideran que dado que existe una doble contribución, natural y antrópica, a los valores obtenidos para el nivel fondo de metales pesados y que resulta difícil determinar la proporción exacta de cada contribución, la utilización de nivel fondo tiende a ser más útil como concepto teórico que práctico (Gough et al., 1994; Chen et al., 1999).



CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN EDÁFICA Y PRODUCT
TABACALERA DE SAN JUAN Y MARTÍNE
MANEJO POR MEDIO DE UN SIG.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

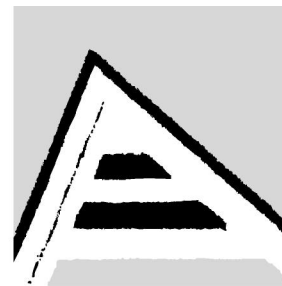
INTRODUCCIÓN

El Ordenamiento Territorial, instrumento esencial de la organización espacial y base para alcanzar el desarrollo sostenible de un territorio, se apoya en la actualidad en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis y la toma de decisiones de carácter espacial que contribuyan a una adecuada Planificación y Gestión Ambiental del territorio.

Paralelamente con el decrecimiento en los instrumentos de la planificación, el nuevo milenio ha visto llegar un agravamiento de los problemas socioeconómicos de gran parte de la humanidad, así como la incapacidad de los gobiernos para resolverlos, lo que ha condicionado el incremento del interés en lograr la sostenibilidad del desarrollo económico y social a mediano y largo plazos, basada en el establecimiento de una planificación mas participativa y centrada en la localidad (Friedmann, 1991).

Los intentos de importar modelos y teorías provenientes de los países desarrollados a la realidad latinoamericana no han dado los resultados esperados, lo que hace pensar en que no puede haber un modelo único de planificación y ordenación del territorio aplicable a distintas realidades sino que cada región y país debe construir su propia metodología de planificación y ordenamiento ajustada a su realidad natural, económica y social (Gastó et al., 2002 y Gudiño, 2003).

Esto ha conllevado al surgimiento de un nuevo tipo de planificación, llamada ecológica, ambiental o estratégica y que puede ser concebida como: "El instrumento dirigido a planear y programar el uso del territorio, las actividades productivas, la ordenación de los asentamientos humanos y el desarrollo de la sociedad, en congruencia con el potencial natural de la tierra, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales



y humanos y la protección y calidad del medio
posibilidad de pensar y crear el futuro a pa
presente y de su articulación al pasado y
instrumento de gestión pública para controlar,
contemporáneos, articulados en su base de sustentación geoecológica (Salinas, 1991;
Lavanderos et al., 1994; Gabiña, 1998; Méndez, 1999 y Dourojeanni, 2000).

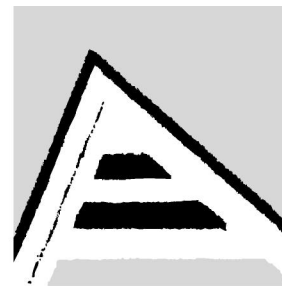
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

El ordenamiento ecológico o territorial, visto como el fundamento de la planificación, es un hecho cultural y político íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada sociedad y se señalan sus orígenes en Francia a fines de la Segunda Guerra Mundial, donde fue propuesto como una alternativa para solucionar los problemas relacionados con la distribución y utilización de la tierra, siendo en Europa y Norteamérica donde alcanza un importante desarrollo esta concepción, especialmente en la última década del siglo XX y principios del XXI (Caballero, 1997 a y b; Hildenbrand, 1996); también en los llamados países de economía centralizada de Europa Oriental, se realizaron importantes aportes a la concepción del ordenamiento territorial como hoy lo conocemos y, desde hace algunos años en América Latina el empleo de nuevos enfoques en esta temática ha enriquecido la teoría y la práctica de esta disciplina (Almeida et al., 1993; Mateo, et al., 1985; Massiris, 2001 y Gastó et al., 2002).

Tres ideas centrales guían esta ordenación del territorio:

1. Proporcionar las oportunidades mínimas que garanticen una adecuada calidad de vida para toda la población.
2. Conservar y desarrollar los fundamentos naturales de la vida (bio y geodiversidad, procesos ecológicos esenciales, etc.).
3. Mantener a largo plazo el potencial de utilización del suelo y los recursos que contiene.

Muchas definiciones se han propuesto en todos estos años, sin embargo, hay tres que se complementan:



El ordenamiento ecológico o ambiental visto como
que permite articular, regular e inducir el uso de
el fin de lograr la protección del medio ambiente,
los recursos naturales y humanos, a partir del análisis de

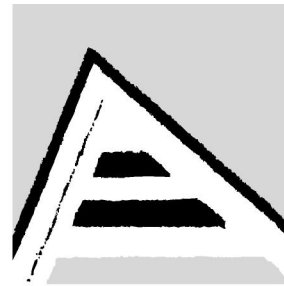
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

las potencialidades de aprovechamiento de los mismos, con el fin de alcanzar la
máxima armonía posible en las interrelaciones de la sociedad con el ámbito donde esta
se desarrolla" (INE-SEMARNAP, 1996; Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997;
Gastó et al., 1998 y Schlotfeldt, 1998).

El ordenamiento territorial como "una disciplina científica, una técnica administrativa y
una política concebida como actuación interdisciplinaria y global cuyo objetivo central es
el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un
concepto rector" (Consejo de Europa, 1983; Barragán, 1994 y 2003; Pujadas y Font,
1997, Instituto de Planificación Física, 1999 y Gómez Orea, 2002).

El ordenamiento del territorio como "El nivel más amplio y abarcador de la planificación
ambiental, dirigido a determinar un modelo territorial constituido por tipos funcionales de
uso para cada parte del territorio, sus entidades de operación y gestión y los
instrumentos administrativos, jurídicos y sociales que aseguren su aplicación, buscando
garantizar el buen uso del territorio y la sostenibilidad del ambiente en armonía con el
desarrollo de la población, los servicios e infraestructura y el funcionamiento eficaz del
gobierno" (Salinas, 1991, 1994 y 2001; Lavanderos et al., 1994; Méndez, 1999;
Gobierno de Navarra, 2002; Gómez Orea, 2002 y Navarro, 2003).

La ordenación del territorio tiene tres dimensiones principales: la ecológico-ambiental,
preocupada por las relaciones entre la sociedad y su medio ambiente; la atinente al
sistema espacial, interactivo a su vez con el ambiental y orientado a evaluar las
interacciones entre los asentamientos, las ciudades y las regiones en donde las redes
desempeñan un rol determinante y el sistema político, relacionado con la administración
y gestión del territorio (Mantobani, 1997).



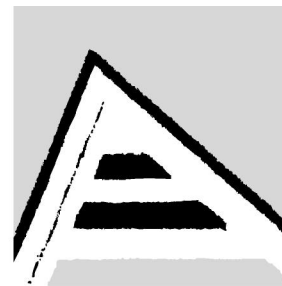
Es necesario apuntar que la ordenación del ter
planeamiento y por lo tanto, debe ser flexible,
holístico y sistémico ya que no sólo es amk
administrativo, debiendo traducirse en una zo

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

del territorio (oferta u objeto de la planificación) para acoger a determinada actividad
socioeconómica (demanda o sujeto de la planificación) y que permita solucionar
algunos problemas y conflictos presentes en el territorio.

El ordenamiento territorial es una forma de intervención social del Estado encargada de regular los distintos requerimientos de las empresas (acumulación del capital), la sociedad (reproducción de la vida cotidiana, reducción de desigualdades sociales y protección ambiental) y el gobierno (legitimación política) mediante la organización, administración y gestión racional y técnico-científica a nivel urbano y regional de aquellas condiciones generales que sostienen un proceso de desarrollo sustentable y de aquellos medios provistos por el Estado para elevar o mantener los niveles de equidad y de eficiencia de la sociedad" (Mantobani, 1997). Aunque esta definición se aparta un poco de las anteriormente discutidas y puede considerarse la síntesis de estas, se enfoca mas a la dimensión social y política del ordenamiento y deja de un lado otros elementos de suma importancia para alcanzar el desarrollo sostenible como lo entendemos nosotros. Implementar una política de ordenación territorial significa introducir la dimensión territorial en las acciones de gobierno, con una visión global e integradora de los múltiples procesos que se desarrollan en el espacio nacional (Boisier, 1996).

Hasta el momento en la mayoría de los países la planificación y ordenación del territorio han sido vistos y estudiados usando límites políticos, cuencas hidrológicas o algunas otras unidades, lo que ha demostrado un desconocimiento del desarrollo teórico metodológico y práctico alcanzado por la geoecología o ecología del paisaje rama de las ciencias físico-geográficas que proporciona una base sólida para el análisis holístico y sistémico del territorio, permitiendo clasificar y delimitar unidades homogéneas por sus características, que pueden ser estudiadas, evaluadas y gestionadas en el propio



proceso de planificación del espacio (Naveh y L
1981; Forman y Godron, 1986; Rougerie,
Zonneveld, 1995; Bolos et al., 1992; Bailey, 1996;
Burel y Baudry, 2002 y Salinas, 1991, 1994 y 2000).

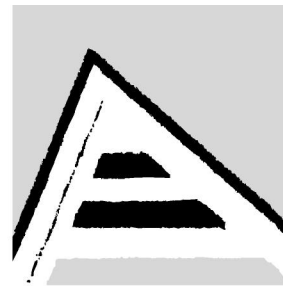
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En los últimos años se han empleado en los trabajos de ordenamiento los SIG como base para el análisis y salida cartográfica de investigaciones, por el gran volumen de información que manejan y relacionan en estos estudios.

El empleo de los SIG en la ordenación del territorio comienza con la propia selección de la plataforma a utilizar, la escala o escalas de trabajo y la delimitación del área de estudio, lo que permite confeccionar una base cartográfica única con los atributos básicos necesarios para volcar en ellos la información analógica o digital existente en anuarios, mapas temáticos, etc., así como la generación de nuevos productos cartográficos por la superposición y análisis de los ya existentes u obtenidos mediante el empleo del SIG.

Los sistemas de información geográfica SIG, son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental. La zonificación agroecológica es una de las primeras etapas del ordenamiento y del planeamiento ambiental. Hoy es casi imposible imaginar un plano de gestión ambiental, de adecuación de las técnicas agrícolas o de monitoreo ambiental, en cualquier escala, sin la utilización de la zonificación agroecológica (De Miranda, 1996).

Hoy los SIG permiten profundizar el análisis integrado de la dinámica espacio temporal del uso de las tierras y de las medidas de sostenibilidad agrícola que se pueden deducir. Los usos pueden ser confrontados cartográficamente, y de forma digital, con la capacidad de producción de los recursos naturales involucrados. Esos procesos estructurados en SIG permiten un balance cartográfico y numérico entre la explotación y la reposición de la fertilidad, por ejemplo.



Escenarios sobre los cambios en el uso de las sostenibilidad agrícola regionales producidos por crédito o de comercialización, también están simulación con base en el uso de los SIG.

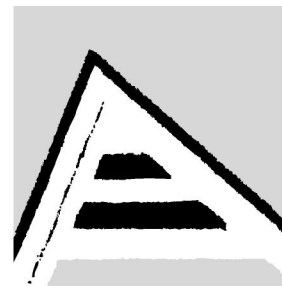
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Hasta el desarrollo reciente de los sistemas computadorizados, la integración de datos numéricos y cartográficos era muy limitada, tanto desde el punto de vista operacional, como de los resultados. El investigador o responsable de desarrollo, confrontado a exigencias de esta naturaleza, era obligado a utilizar procedimientos de integración muy rudimentarios como la sobre posición de mapas, el uso de transparencias u *overlays*, el dibujo manual de isolíneas de productividad de factores, construcción de tablas cruzadas entre factores, la cuantificación de áreas con planímetros etc. El surgimiento de los sistemas de informaciones geográficas, ha cambiado completamente esa realidad. No solamente por facilitar tareas manuales, antes complejas y lentas en su ejecución, más sobre todo, al abrir posibilidades de integración entre datos espaciales y numéricos impensables en el pasado.

Los SIG son bancos de datos para informaciones codificadas espacialmente. Independientemente de los variados logicales o *softwares* de SIG disponibles en el mercado, sus principales componentes son siempre y básicamente los siguientes:

- Un subsistema de entrada de datos (mapas, datos numéricos etc.);
- Un subsistema de almacenamiento y recuperación de datos espaciales en una forma que posibilite un acceso eficiente a los mismos;
- Un subsistema de manipulación, para analizar y generar datos derivados;
- Un subsistema de presentación de datos, tanto en la forma tabular como gráfica.

Un SIG incorpora datos con diversas características y diversos tipos de representación. Se acostumbra diferenciar por lo menos dos tipos de representación: la vectorial (como los mapas, por ejemplo), y la matricial o raster (como las imágenes, por ejemplo).



La existencia de múltiples formas de represent del sistema, debido a varias causas: datos pro general, formas diferentes y no siempre la sentido; variados métodos de manipulació diferentes. Por ejemplo, un algoritmo de clasificación puede ser aplicable solamente a imágenes, mientras que algoritmos para la generación de isólineas casi siempre requieren estructuras propias.

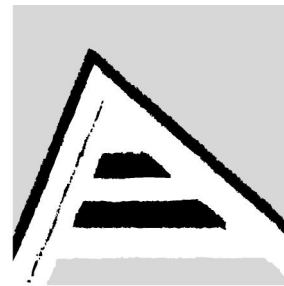
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Ese potencial es particularmente importante para compatibilizar y unificar datos en países donde la información sobre los recursos naturales y la agricultura se encuentran dispersas entre varias instituciones, en escalas distintas y obtenidas según metodologías muy variables.

El modelo de datos del SIG tiene por objetivos definir las ideas generales de la organización del sistema y las categorías básicas de datos, a través de los cuales pueden ser representados los diferentes tipos de "datos espaciales" en el SIG. Por "datos espaciales" se entienden aquellos que caracterizan la geometría de algún fenómeno geográfico. El modelo de datos también debe permitir la inclusión de datos no espaciales en el sistema, a través del modelo relacional. Los datos no espaciales permiten describir características de naturaleza general, no geométrica, de un dato espacial.

El trabajo del usuario del SIG es siempre organizado en proyectos. Cada proyecto puede corresponder a una determinada región geográfica: un municipio, una cuenca o una provincia. Este proyecto podrá contener datos con características intrínsecas muy diferentes como, por ejemplo, descripción del uso del suelo, modelos digitales de terreno, imágenes de satélites, etc.

Un proyecto es formado por planos de información (PI). Un PI reúne todas las informaciones que se refieren a un cierto aspecto del modelo de una región. Por ejemplo, un proyecto que reúna informaciones sobre altimetría, pedología, climatología,



uso del suelo, productividad y erosión. En este será organizada dentro de un PI independiente.

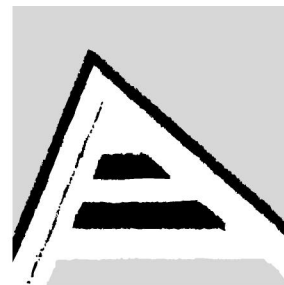
Universitat d'Alacant

Cada PI almacena informaciones de una única (que son representados y tratados por el sistema de la misma manera). Sin embargo, la misma información (por ejemplo, la altimetría), puede ser representada de varias formas (por ejemplo, curvas de nivel, puntos acotados o retículas), y un PI puede incorporar datos en más de un formato de representación (matricial, poligonal, muestras 3 D, retículas, isolíneas, puntos).

Dentro de un PI, el usuario puede definir objetos, a los cuales pueden ser asociados atributos relacionados (datos no espaciales, gerenciados por un banco de datos relacional), y una clase, que es un atributo cuyo valor puede ser oriundo de un método de clasificación propio para la aplicación. Ejemplos de objetos pueden ser municipios o provincias en un mapa de división política, ríos y lagos en un mapa hidrográfico o cruces de una red vial, clases de productividad en un mapa de uso de las tierras etc.

El uso de un SIG, independientemente de la complejidad de los distintos logicales o *softwares* existentes, lleva al ejercicio de seis grupos de funciones principales:

- *Definición*: selección de los datos a ser manipulados;
- *Entrada*: inserción de nuevos datos en el sistema. Este grupo incluye también funciones para la entrada de textos (básicamente nombres) y símbolos sobre un PI;
- *Conversión*: transformación de formato (raster <--> vector, retícula --> vector y retícula --> raster), y transformaciones geométricas (inclusive cambio de sistema de proyección);
- *Manipulación*: generación de nuevos PIs a partir de operaciones de combinaciones entre uno o más PIs. Entre las principales opciones de manipulaciones están: declive, reclasificación y sobreposición;
- *Consulta*: manipulación de atributos no gráficos (relacionales);



- *Salida*: generación de documentos cartográficos

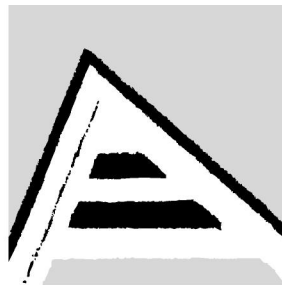
Un documento cartográfico visualizado en la pantalla de un ordenador, un mapa impreso, es siempre el resultado de una salida gráfica, en un formato definido por el usuario.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

El SIG incorpora diversas funciones de visualización, incluyendo recursos tridimensionales. La integración manual de mapas en el pasado se limitaba esencialmente a las sobreposiciones de transparencias. El último análisis se trataba de una operación aritmética de suma y resta. Hoy, a partir de la organización de los datos en un proyecto de SIG, dos o más mapas pueden ser relacionados a través de las más distintas funciones lógicas y matemáticas. Varios mapas pueden ser integrados a través de complejas ecuaciones. Los resultados son rápidos, precisos y exhaustivos. Cambios de intervalos de clases, por ejemplo, pueden ser obtenidos de forma simple e inmediata. Los cálculos de áreas, perímetros, intersecciones entre distintas unidades geográficas pueden ser realizados y detectados con precisión.

El hecho de que varios *softwares* de SIG pueden operar en plataformas de tipo PC, ha ampliado mucho el número de los usuarios. La creciente compatibilidad entre los archivos generados a partir de diferentes SIG también ayuda a ampliar la adopción y la utilización de esos sistemas. La existencia de un número creciente de *softwares* de SIG en el mercado, muchos de dominio público, colabora con la difusión de esta herramienta tecnológica.

Por las razones anteriormente expuestas, los SIG están siendo cada vez más utilizados en Cuba, constituyen un instrumento decisivo e indispensable como soporte para los trabajos de zonificación agrícola, catastro rural, planeamiento regional, diseño de proyectos y otras tareas. En este caso, se implementa un SIG en una empresa de producción tabacalera, con vistas a mejorar eficiencia en todos los aspectos relacionados con la producción con calidad de la hoja de tabaco.



MATERIALES Y MÉTODOS

El área seleccionada para el estudio pertenece de San Juan y Martínez de la Provincia de Pinar del Río, en la Zona No. 2, que comprende las

(CCS) Tomás León, Tomás Valdés y Francisco Blanco, enclavadas en las cercanías de San Juan y Martínez, sobre todo hacia la parte norte y este extendiéndose algo hacia el sur; con un área total de 901,51 hectáreas, de las cuáles 437,64 están dedicadas al tabaco; 325,11 dedicadas al autoconsumo, 102,58 de monte o manigua y en otros usos 36,18 hectáreas.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

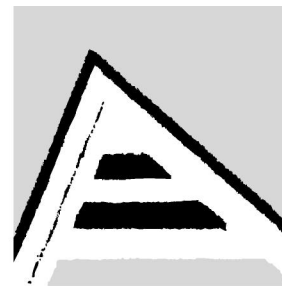
Para el desarrollo del trabajo, se emplearon bases cartográficas a escala 1:10,000 y hojas catastrales con los límites de las parcelas. Los suelos y sus factores limitantes se delimitaron a través de los puntos auxiliares con barrenas.

Para la determinación de los rendimientos posibles a alcanzar, además de las propiedades de suelos, se emplearon los rendimientos históricos de las parcelas estudiadas.

Para este trabajo ha sido empleada la Segunda Clasificación Genética de los suelos de Cuba, de la cual se ofrece una información detallada hasta el nivel más inferior, es decir, hasta la variedad, descrita en forma de simbología en las tablas anexas y se ofrece una correlación de los tipos existentes con la clasificación Norteamericana Soil taxonomy al nivel de órdenes.

Se estudiaron 241 parcelas, obteniéndose una información importante de cada una de ellas. Para poder almacenar, procesar y utilizar en la toma de decisiones esta abundante información, fue necesario el empleo de un Sistema de Información Geográfico (SIG) como una herramienta imprescindible en el estudio de las áreas comprendidas en la investigación.

El SIG empleado es MapInfo Profesional 6.5 (MapInfo 6.5 licenciado al Centro Nacional



de Áreas Protegidas CITMA), teniendo en cuenta
brindar en el proyecto. Las imágenes se digitalizan
esta información es imposible de procesar y de
ordenador.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

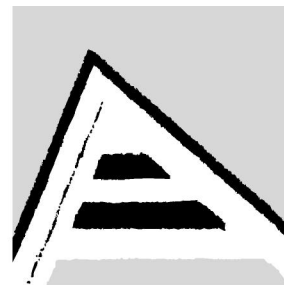
Para la realización del trabajo se contó con planos a escala 1:10 000 de las tres CCS, en las que aparecen las diferentes áreas dedicadas al cultivo de tabaco de sol y otras producciones alternas, la distribución de las redes viales de comunicación terrestre, los poblados, los ríos, arroyos y embalses, y otros elementos importantes, facilitados por el Ministerio de la Agricultura Provincial. Con la ayuda de las hojas cartográficas se georreferencian los diferentes planos del área, para el rastreo y obtención de las imágenes en formato JPEG se utilizó un escáner modelo Scan Jet. Posteriormente las imágenes fueron georreferenciadas en MapInfo ver. 6,5.

Con la digitalización de las imágenes raster de los planos de las CCS se obtuvo un mapa general, que contienen toda la información obtenida en el estudio, a partir de asociar una base de datos con el mapa confeccionado. Esta tabla presenta una serie de campos o atributos, 29 en total, necesarios para obtener información de la región deseada. Los mapas temáticos se realizan de acuerdo a los atributos que se quieran mostrar en cada uno de ellos. Es posible obtener tantos mapas temáticos como atributos tenga la base de datos asociada, o cualquier combinación que se quiera establecer entre ellos.

Los atributos que presenta la tabla asociada son muy variados y están en dependencia de la información introducida a dicha capa. Los campos obtenidos en cada tabla se pueden cambiar (actualizar) desde el mismo SIG, de forma fácil y dinámica.

Metodología utilizada para la caracterización química del suelo.

Los análisis químicos y físico-químicos del suelo, fueron realizados en el Laboratorio de



suelos del MINAGRI y en el Laboratorio de si
Las técnicas utilizadas fueron:

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

pH: Potenciometría.

Materia orgánica (MO): Incineración.

Humedad higroscópica (Hy): (Gravimetría)

Ca^{2+} y Mg^{2+} : Complexometría.

K^+ y Na^+ : Fotometría de llama.

P_2O_5 : Colorimetría.

Conductimetría: Conductímetro.

Nitrógeno: Destilación con Kjeldahl

Todos estos análisis se realizaron aplicando las metodologías establecidas por MINAGRI (1994) y Ansorena (1994).

Descripción de algunas variables que se utilizan en el trabajo:

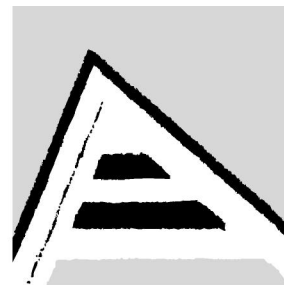
Valor S: Suma cationes de cambio (cmol/kg de suelo). Suma de las concentraciones de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+

Valor T: Capacidad cambio catiónico (cmol/kg de suelo). Se determina por valoración

Valor V: Porcentaje de saturación de bases (%). Es el resultado de dividir S sobre T

Análisis estadístico.

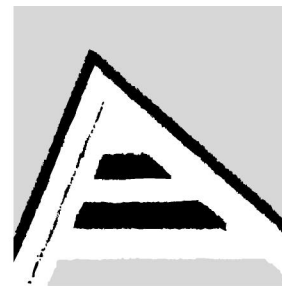
Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico SPSS para Windows Versión 10 de diciembre 2001 (SPSS 10.0). Se ha utilizado el Análisis de Componentes Principales con el objeto de estudiar las relaciones entre los metales y los parámetros edáficos, confirmando o no por caminos diferentes los resultados encontrados en el estudio de las correlaciones. En el Análisis de Componentes Principales el objetivo final es reducir la dimensionalidad de la tabla de datos concentrando la información en el menor número de variables o factores que se obtienen como combinación lineal de las variables iniciales y se retienen aquellas que explican una mayor varianza.



Se ha utilizado la correlación de Pearson para las correlaciones significativas (con significación $p < 0.05$) entre los contenidos de metales pesados entre sí y con los parámetros cuantitativos para todos los suelos estudiados.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Se realizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y la comparación utilizando el método de Student-Newman-Keuls (SNK) para todas las variables que no cumplieron con una distribución normal. También se realizaron pruebas de comparación por Duncan.



RESULTADOS DE LA APLICACIÓN I GEOGRÁFICO.

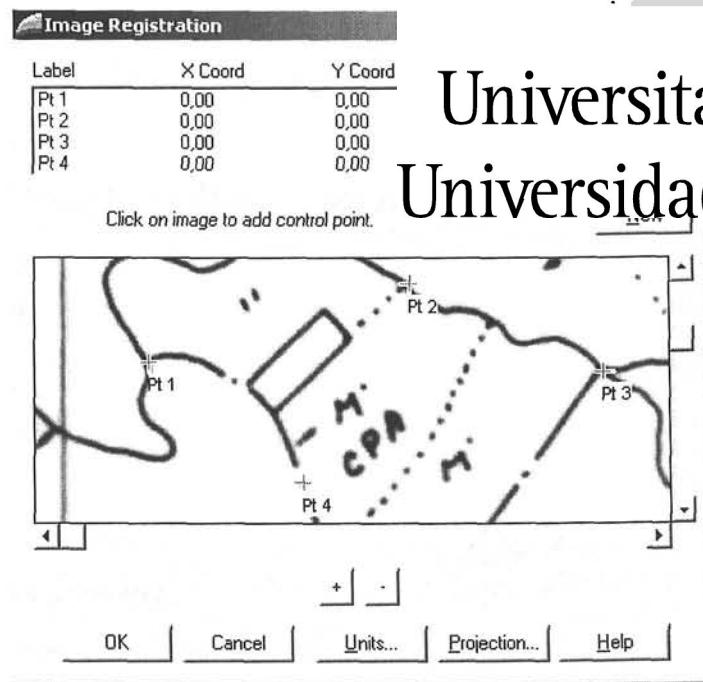
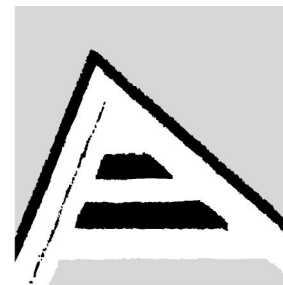
Diseño y elaboración del SIG.

La presente investigación se realizó en el per **Universitat d'Alacant**
Universidad de Alicante
año 2002 y Mayo del 2004. Se fundamenta en el diseño y ejecución de un Sistema de Información Geográfica, el cual facilitará la planificación estratégica y la toma de decisiones del desarrollo agrícola sobre bases científicas, aplicando modelos de investigación centrados en las demandas, problemas y desafíos del entorno. El mismo se sustenta en un sistema de rápido y multivariado acceso de la información contenida en las bases de datos que se pueden visualizar, analizar y dinamizar con la aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) a partir de las identificaciones de los diferentes ecosistemas estratégicos que conforman las tres CCS estudiadas, en las que el área de estudio se concentra específicamente en los campos dedicados al cultivo del tabaco.

Se obtuvieron los mapas a escala 1:10 000 para las tres cooperativas estudiadas. Estos mapas fueron convertidos a imágenes ".JPG" utilizando un Scan Jet 3300c. Posteriormente, las imágenes fueron georeferenciadas (Figura 2.1) utilizando el sistema de georeferenciación Cuba Norte dentro del propio sistema MapInfo Profesional 6.5. Finalmente se procedió a la digitalización de las imágenes para la obtención de las diferentes capas, con los datos asociados a las mismas.

Teniendo en cuenta que se trata de una región predominantemente llana, solo en algunos casos con pocas ondulaciones del terreno, no se utilizaron los mapas con curvas de nivel, pero queda abierta la posibilidad para en el futuro obtener en esta misma zona mapas tridimensionales.

Las coordenadas de algunos puntos de la zona de estudio fueron rectificadas utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) portátil.



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Figura 2.1.- Georeferenciación de las imágenes

Una vez concluido el procedimiento de digitalización de cada cooperativa, es posible obtener una información con una alta precisión en relación con las áreas de cultivo, el perímetro, la longitud de canales y arroyos y otros datos de gran interés para la Empresa (Figura 2.2).

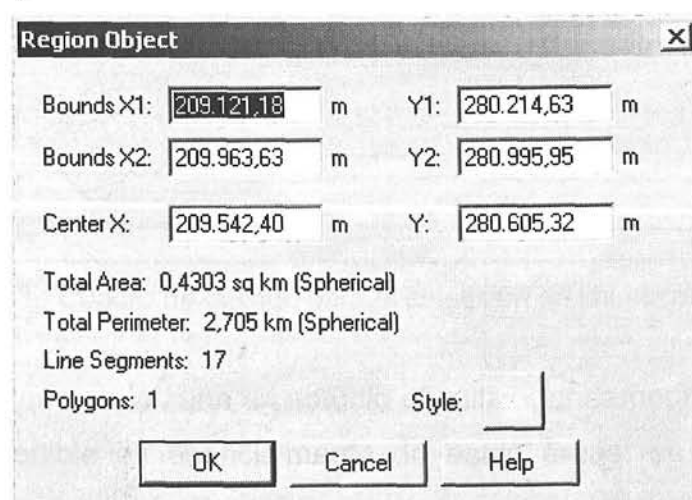
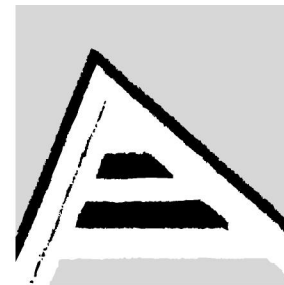


Figura 2.2.- Información de los polígonos digitalizados

El sistema elaborado cuenta con una estructura de capas y subcapas, las que se relacionan a continuación (Figura 2.3):



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

- Campos de tabaco. En esta capa se ubi tabaco. Esta capa se subdivide en tres su
- Otros campos. En esta capa están u cooperativa pero que no se siembran de t
- Otras áreas. Otras áreas que no pertenecen a las cooperativas. Se subdivide en dos subcapas.
- Embalses y ríos. Se confeccionaron tres subcapas, una para cada cooperativa.
- Carreteras. Se muestran carreteras, caminos y línea del ferrocarril. Dos subcapas.
- Poblados. Dos subcapas
- Vaquería. Una subcapa.
- Escala. Subcapa con datos de información general.

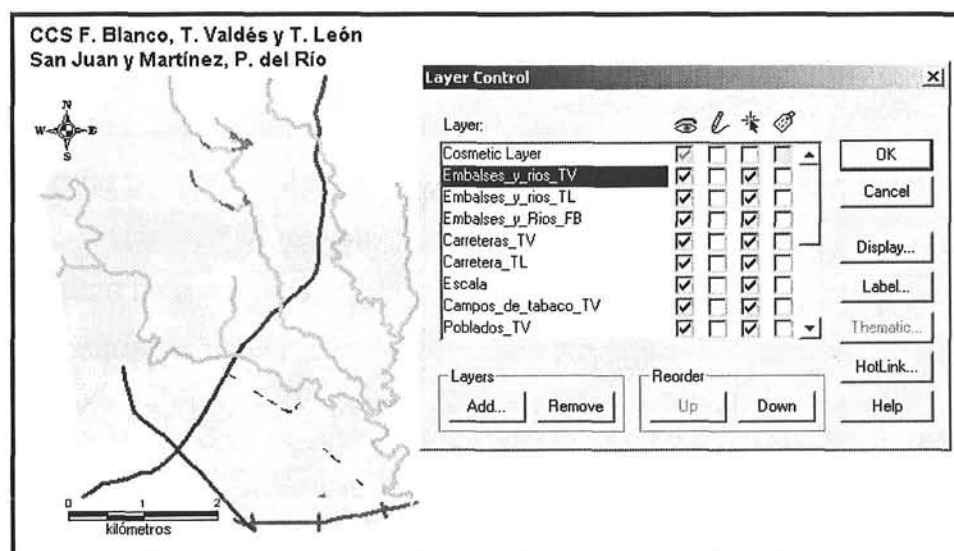
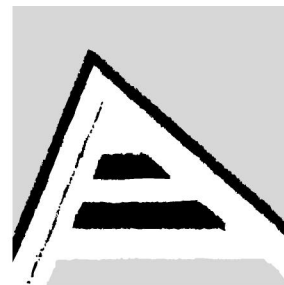


Figura 2.3.- Cuadro de diálogo para la selección de las capas a editar.

Teniendo en cuenta que en la zona en estudio el cultivo fundamental es el tabaco y que la información disponible es esencialmente de estas áreas, se confeccionaron tres bases de datos, una para cada CCS, en las que se describen en detalles las características de cada campo o parcela cultivada. Estas bases de datos contienen hasta 33 campos, los que pueden ser disminuidos o incrementados en función de los requerimientos de la Empresa.

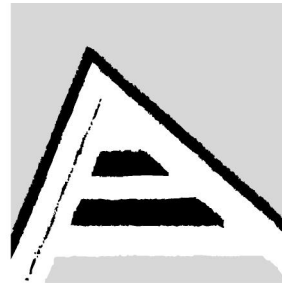


Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

A continuació se relacionan los campos asignados:

- 1.- Cooperativa (Nombre de la cooperativa o C
- 2.- Número de la parcela estudiada.
- 3.- Propietario o dueño
- 4.- Área total.
- 5.- Área destinada al cultivo de tabaco.
- 6.- Acidez del suelo (pH).
- 7.- Contenido de Calcio (cmol/kg de suelo).
- 8.- Contenido de Magnesio (cmol/kg de suelo).
- 9.- Contenido de Potasio (cmol/kg de suelo).
- 10.- Contenido de Sodio (cmol/kg de suelo).
- 11.- Suma cationes de cambio (Valor S).
- 12.- Capacidad cambio catiónico (Valor T).
- 13.- Porcentaje de saturación de bases (Valor V).
- 14.- Contenido de fósforo total en forma de P_2O_5 .
- 15.- Contenido de potasio total en forma de K_2O .
- 16.- Contenido de Materia Orgánica.
- 17.- Hy (Humedad higroscópica).
- 18.- Categoría Agroproductiva.
- 19.- Tipo de suelo.
- 20.- Sub-tipo de suelo.
- 21.- Material basal en la formación del suelo.
- 22.- Saturación.
- 23.- Profundidad.
- 24.- Humificación.
- 25.- Erosión.
- 26.- Textura.
- 27.- Contenido de gravas.
- 28.- Profundidad efectiva.
- 29.- Pendiente.



30.- Rendimiento.

31.- Producción.

32.- Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP)

33.- Producción según RMP.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

A partir del siguiente cuadro de diálogo se puede acceder a la base de datos de la CCS requerida (Figura 2.4)

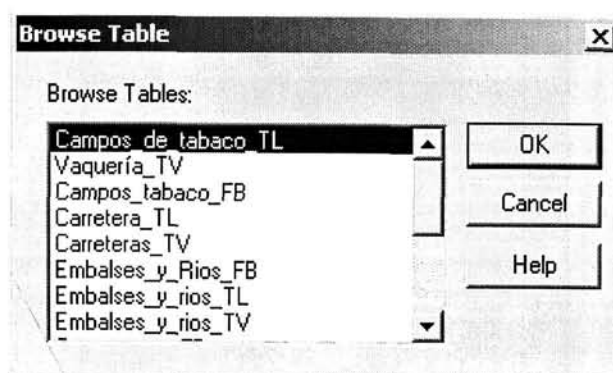


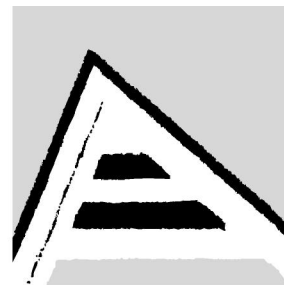
Figura 2.4.- Cuadro de diálogo para seleccionar la base de datos a utilizar

Este cuadro de diálogo resulta de gran utilidad, sobre todo cuando se desean hacer modificaciones en la estructura de la base de datos que se esta analizando, ya sea actualizar un campo, suprimirlo o adicionar uno nuevo.

En la siguiente figura (Figura 2.5) se muestra como aparece la información de cada parcela al hacer "clic" en el polígono que la representa. De una forma rápida y segura se puede acceder a toda la información disponible para esta área.

En las Tablas (Anexo 01 Base de datos de MapInfo para las cooperativas estudiadas), se muestran las bases de datos utilizadas para el empleo del SIG. En todos los casos se trata de muestras de suelos.

Resulta evidente que la información obtenida es de gran importancia para la organización, la planificación, el desarrollo y el control de la producción tabacalera en esta zona. Se destaca la facilidad para ubicar aquellas zonas donde existen los



mayores factores de riesgo de contaminación
suelos y su entorno.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Info Tool	
Parcela:	25
Propietario:	José M. Rguez
A_Total:	52,3
A_Tabaco:	1,4
pH:	4,4
Ca:	26,4
Mg:	6,27
K:	0,4
Na:	0,04
Valor_S:	3,16
Valor_T:	6,08
Valor_V:	51,97
P2O5:	26,4
K2O:	21
Mat_Org:	1,22
Humedad_higrosc:	2,6
Cat_Agroprod:	II

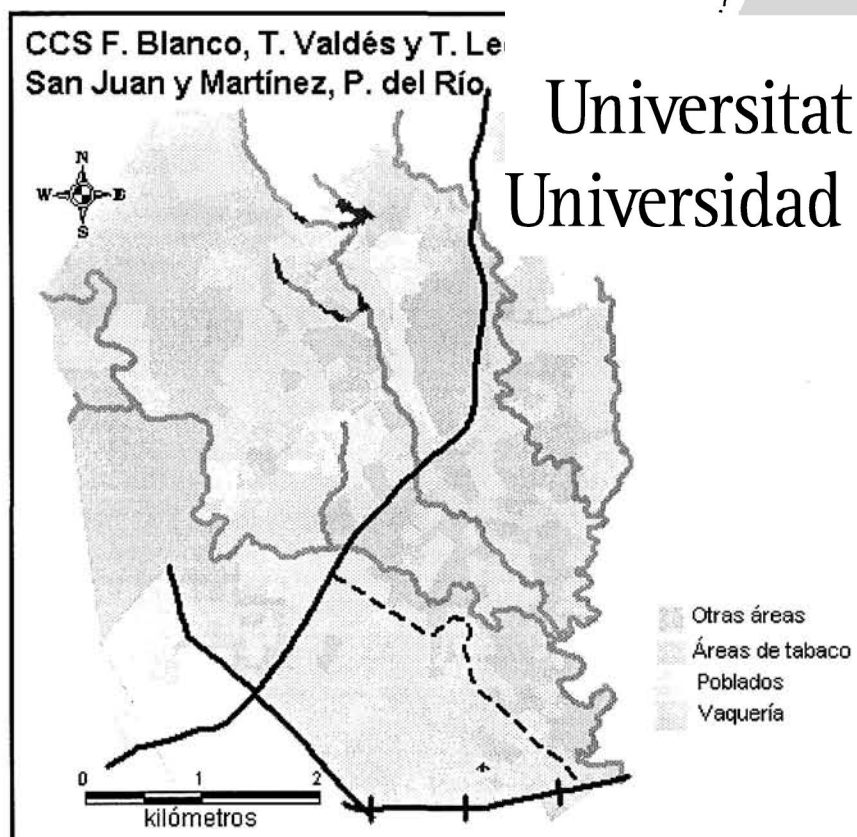
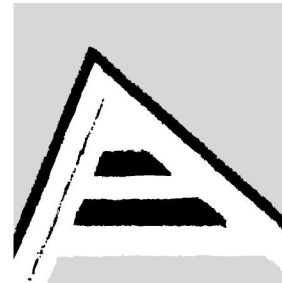
<< >> List Campos_tabaco_FB

Figura 2.5.- Información de las parcelas

Como se aprecia de la figura anterior, al seleccionarla parcela de interés, es factible obtener de forma muy rápida toda la información disponible para la misma. Es posible almacenar toda la información de manera que se obtenga un historial de la parcela y de toda el área objeto de estudio.

Posibilidades y ejemplos en la explotación del SIG.

Las posibilidades del empleo de este Sistema de Información Geográfica son amplias. En la Figura 2.6 se muestra un mapa general del territorio en el que se ubican las tres cooperativas de créditos y servicios (Francisco Blanco, Tomás León y Tomás Valdés) en las que se desarrolló el estudio.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Figura 2.6.- Mapa general del territorio en el que se ubican las tres cooperativas

Entre estas posibilidades que brinda el Sistema de Información Geográfica (SIG), se encuentran las de obtener diferentes mapas temáticos, uno por cada uno de los campos introducidos en la base de datos.

A continuación se muestra un mapa (Figura 2.7) en el que solo aparecen los suelos de estas cooperativas, así como los embalses, ríos y arroyos, carreteras importantes, así como la línea del ferrocarril. Con respecto a las parcelas estudiadas, se puede observar la variación del pH en las mismas:

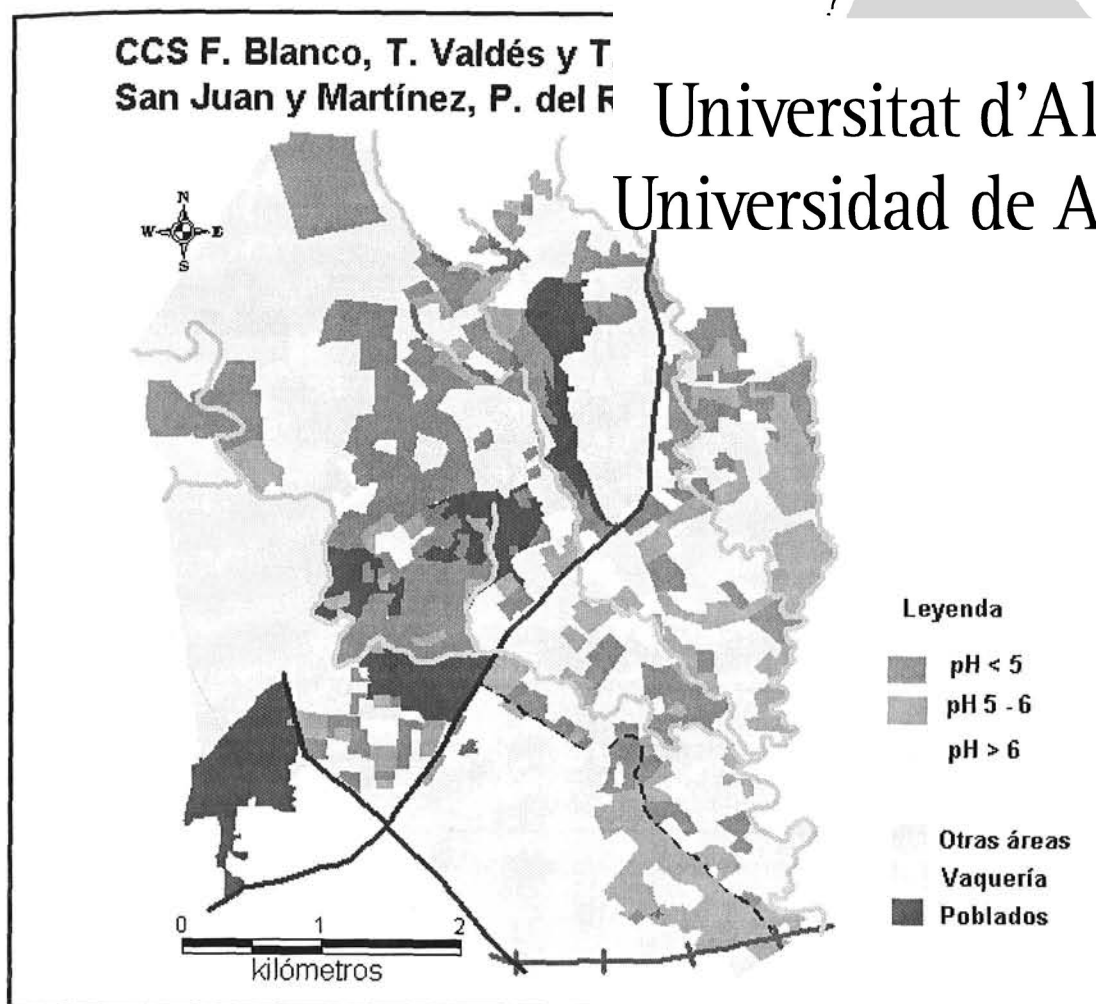
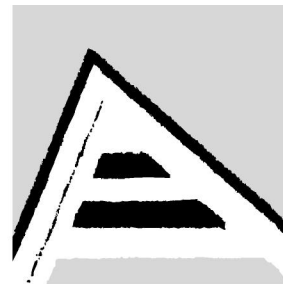


Figura 2.7.- Mapa de la variación del pH en el suelo

En este mapa se aprecian los graves problemas existentes en relación con la acidez predominante en estos suelos. Se trata en la mayor parte de los casos de parcelas con valores de pH por debajo de 6, son suelos ácidos en casi todos los casos.

La variación del contenido de materia orgánica (Figura 2.8) está estrechamente relacionada con el pH del suelo. Se puede apreciar rápidamente que la mayor parte de los suelos presenta contenidos de materia orgánica por debajo de 2%, lo que obliga a los productores a realizar casi todos los años tareas de mejoramiento de suelos, con el objetivo de obtener mejores producciones de tabaco

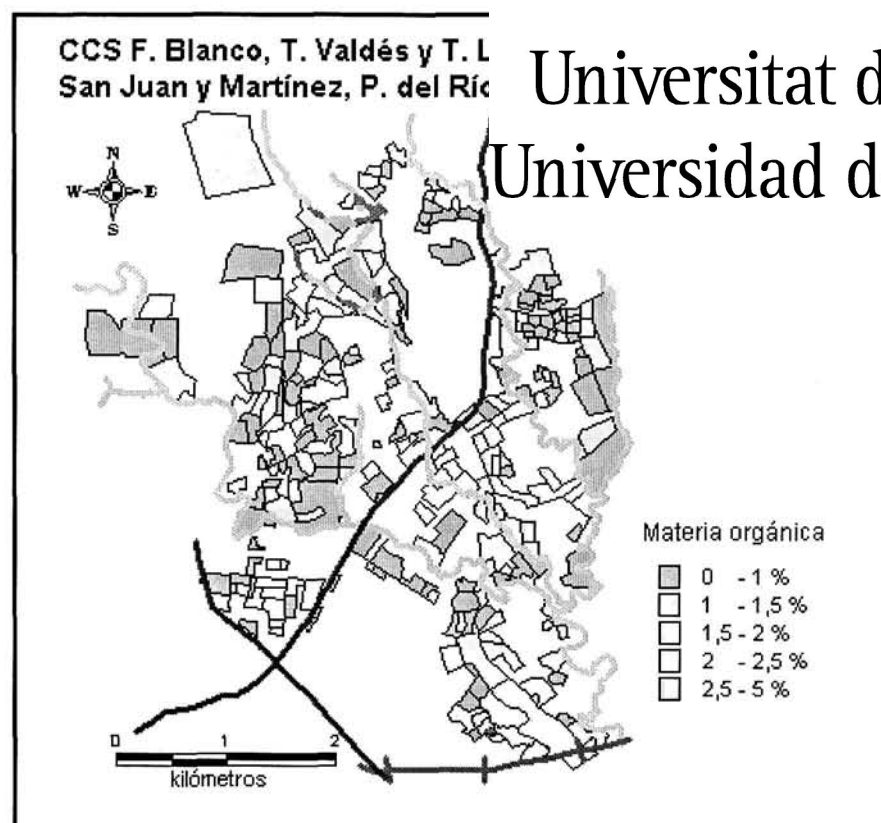
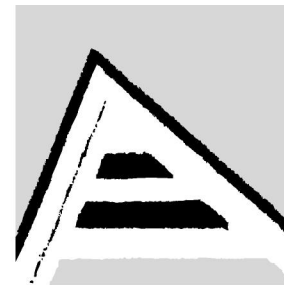
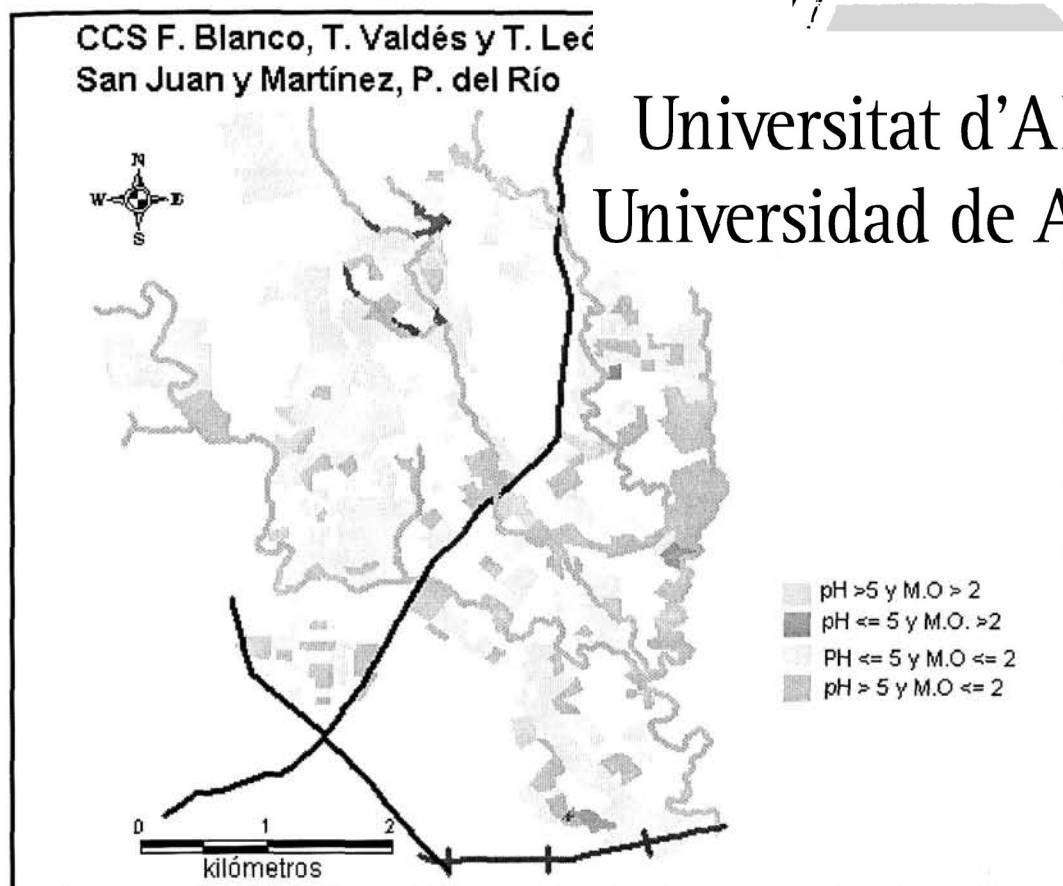
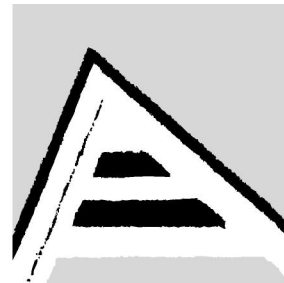


Figura 2.8.- Mapa de la variación del contenido de la materia orgánica en el suelo

Una herramienta importante del SIG es que permite obtener un mapa con la interacción de varios campos de los que aparecen en la base de datos. Así, a continuación se muestra un mapa con la interacción de los campos pH y Materia orgánica, lo que proporciona una información mas completa en relación con estas dos variables.

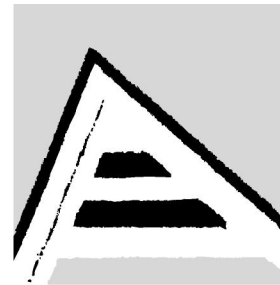
En la Figura 2.9 se aprecia que el número de parcelas donde se cumple la condición de tener contenidos de materia orgánica por encima del 2% y pH mayor que 5 son mínimos. La condición predominante es la de las parcelas con valores de pH menores o iguales a 5 y contenido de materia orgánica menor o igual a 2%. La elevada acidez puede favorecer la asimilación de elementos tóxicos para la planta.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Es significativo señalar que en las parcelas ubicadas al noroeste de la carretera que enlaza a los municipios de Pinar del Río con San Juan y Martínez predominan los campos con muy bajos valores de pH y de materia orgánica. Estos factores están asociados con los rendimientos que se obtienen en estas áreas.

En el caso de los rendimientos (Figura 2.10), se puede apreciar que en general, se consideran bajos. En la mayor parte de las parcelas, los rendimientos se encuentran en un rango entre 200 y 400 quintales por caballería. Expresados estos rendimientos en toneladas por hectárea, significan entre 0,7 y 1,4 toneladas por hectáreas, valores muy bajos comparados con la media internacional que se encuentra por encima de las 10 toneladas por hectárea. La Provincia de Pinar del Río cuenta con un récord en cuanto a los rendimientos, alcanzado en la campaña 2004-2005, en la que se obtuvo una media de 292 quintales por caballería, lo que equivale, aproximadamente, a una tonelada por



hectárea. Este valor supera el record anterior 2002-2003 y que era de 257 quintales por cab:

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

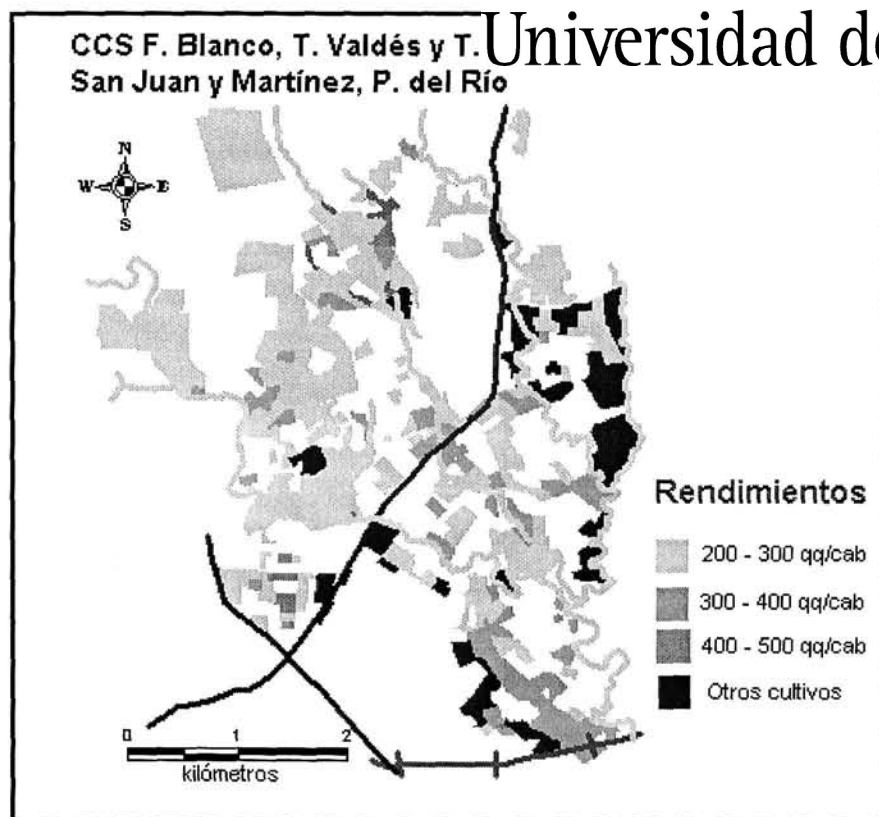
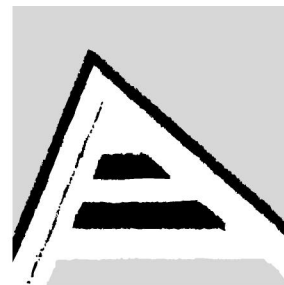


Figura 2.10.- Mapa de la variación de los rendimientos.

Los factores determinantes en estos bajos rendimientos, como son la fertilización, el contenido de materia orgánica, la acidez del suelo y otros, se analizan en detalle en la siguiente sección.



Análisis estadístico de los resultados.

A continuación se realiza un estudio estadístico agrupadas en la base de datos asignados a rangos de estas variables.

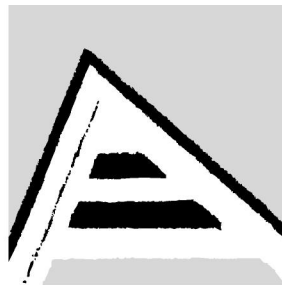
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 2.1 Rangos de las variables cuantitativas.

Variables	Min	Media	Max	Std. Dev	Std. Error
Acidez del Suelo (pH)	3,40	4,77	7,40	0,84	0,06
Calcio (cmol/kg suelo)	0,96	3,30	8,00	1,65	0,12
Magnesio (cmol/kg suelo)	0,02	0,74	1,99	0,48	0,03
Potasio (cmol/kg suelo)	0,15	0,41	1,42	0,18	0,01
Sodio (cmol/kg suelo)	0,040	0,062	0,080	0,016	0,001
Suma cationes de cambio (cmol/kg suelo)	1,41	4,51	10,20	1,95	0,14
Capacidad cambio catiónico (cmol/kg suelo)	3,80	7,05	14,42	1,88	0,13
Porcentaje de saturación de bases (%)	31,30	61,32	89,77	12,04	0,86
Fósforo total (%)	10,40	26,11	59,90	9,39	0,67
Potasio total (%)	10,00	21,00	38,10	6,25	0,45
Materia orgánica (%)	0,15	1,15	2,75	0,54	0,04
Humedad higroscópica (%)	0,90	1,75	2,90	0,42	0,03
Profundidad efectiva (cm)	25,00	44,88	60,00	11,25	0,81
Rendimiento histórico (qq/caballería)	200,00	258,28	485,00	54,55	3,91

Con respecto a la acidez del suelo, se aprecia una media del pH de 4,77, lo que indica la necesidad de continuar con las enmiendas en los suelos con vistas a revertir este valor tan elevado en la acidez. Los suelos con valores de pH inferiores a 4,5 son considerados suelos extremadamente ácidos (Jiménez, 1983; Sánchez, 1996), donde es desfavorable el desarrollo radicular, es bajo el valor S, se produce una reducción de la actividad microbiana y de la nitrificación, se puede producir una parcial insolubilización del fósforo con hierro y aluminio aunque mejora la asimilación de oligoelementos.

Un elemento importante en la nutrición de las plantas está dado por la relación ínter nutriente. Según F.A.O., las proporciones ideales de los cationes, respecto a la



Capacidad cambio catiónico (valor T), deben s

Magnesio: 10-20% de T, Potasio: 2-6% de T

Sánchez, 1996). En este caso se obtiene una

refleja una insuficiencia respecto al Calcio. P

10,5%, para el Potasio la relación es de 5,8% y para el sodio 0,8%, lo que indica niveles

adecuados para estos tres elementos. Los niveles de materia orgánica son bajos, en

tanto los contenidos de fósforo total, y potasio total son adecuados. La profundidad

efectiva es adecuada para este cultivo.

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

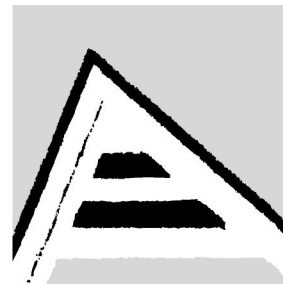
Tabla 2.2 Comparación entre las tres CCS

Variables	Cooperativa de créditos y servicios			Std. Dev	Std. Error
	FB	TL	TV		
Acidez del Suelo (pH)	4,53 b	4,98a	4,85 a	0,84	0,06
Calcio (cmol/kg suelo)	2,76 b	4,07 a	2,87 b	1,65	0,12
Magnesio (cmol/kg suelo)	0,54 b	1,05 a	0,52 b	0,48	0,03
Potasio (cmol/kg suelo)	0,42 a	0,40 a	0,43 a	0,18	0,01
Sodio (cmol/kg suelo)	0,056 b	0,065 a	0,067 a	0,02	0,001
Suma cationes de cambio (cmol/kg suelo)	3,77 b	5,57 a	3,89 b	1,95	0,14
Capacidad cambio catiónico (cmol/kg suelo)	6,21 b	8,12 a	6,64 b	1,88	0,13
Porcentaje de saturación de bases (%)	57,7 b	67,3 a	56,8 b	12,04	0,86
Potasio total (%)	25,6 b	23,6 b	32,1 a	9,39	0,67
Fósforo total (%)	21,4 a	21,1 a	20,0 a	6,25	0,45
Materia orgánica (%)	1,14 ab	1,23 a	0,99 b	0,54	0,04
Humedad higroscópica (%)	1,88 a	1,68 b	1,65 b	0,42	0,03
Profundidad efectiva (cm)	38,1 c	51,6 a	45,3 b	11,25	0,81
Rendimiento histórico qq/caballería.	247,5 b	253,6 b	288,3 a	54,55	3,91

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación Student-Newman-Keuls (SNK)

En la Tabla 2.2 se realiza una comparación entre las tres cooperativas en función de las variables anteriormente analizadas. Los resultados obtenidos en esta Tabla reflejan las características que existen entre las tres áreas que fueron objeto del estudio. El pH en la CCS Francisco Blanco (FB) difiere significativamente con respecto a las CCS Tomás



León (TL) y a la CCS Tomás Valdés (TV). E
difiere significativamente con respecto a las
significativas entre las tres CCS con r
intercambiable.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Los contenidos de Sodio son más bajos significativamente en la cooperativa FB. Con respecto a la Suma cationes de cambio (S), Capacidad cambio catiónico (T), y Porcentaje de saturación de bases (V), tienen un comportamiento similar, por cuanto las cooperativas FB y TV difieren significativamente de la TL. Otras variables se muestran en la tabla. Con respecto al rendimiento, se observa que los mayores rendimientos se obtienen en la CCS Tomás Valdés, con una media de 288,3 quintales por caballería, inferior a la media provincial más alta de 292 quintales por caballería.

A partir de todas las variables incorporadas a la base de datos del SIG, se realizó un análisis de componentes principales con el objetivo de distinguir, entre todas las variables estudiadas, aquellas que tienen una mayor contribución a la obtención de mayores rendimientos de tabaco y por tanto son las variables que mas influyen en la obtención de mayores volúmenes de producción de la hoja. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2.3

Como se puede apreciar, en el primer componente parecen un grupo de variables que son las que más se relacionan con la variable rendimiento. Estas son: Potasio total, Materia orgánica, Potasio intercambiable, Suma de cationes de cambio, Calcio, Fósforo total, Rendimiento histórico, Capacidad de cambio catiónico, Porcentaje de saturación de bases, Acidez del Suelo (pH) y la Humedad higroscópica. Todas estas variables se correlacionan positivamente.

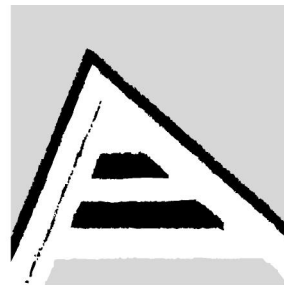


Tabla 2.3 Componentes de la matriz rotada

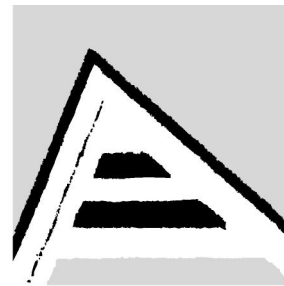
Componentes de la matriz rotada						
	1	2				
Potasio total	0,98	-0,08				
Materia orgánica	0,95	-0,05	-0,05	0,09	-0,07	-0,01
Potasio	0,95	-0,05	0,03	-0,11	0,05	0,02
Suma de cationes de cambio	0,92	0,15	-0,11	0,29	-0,06	0,06
Calcio	0,91	0,11	-0,13	0,16	-0,10	0,07
Fósforo total	0,91	-0,07	-0,02	-0,26	0,16	0,08
Rendimiento histórico	0,89	0,01	-0,11	-0,20	0,14	0,10
Capacidad de cambio catiónico	0,89	0,16	-0,17	0,27	-0,06	0,06
Porcentaje de saturación de bases	0,83	0,13	-0,04	0,35	-0,05	0,10
Acidez del Suelo (pH)	0,73	0,02	-0,17	0,12	0,11	-0,05
Humedad higroscópica	0,54	-0,10	0,18	-0,12	-0,32	-0,01
Erosión	0,002	0,90	-0,08	-0,07	0,13	0,11
Profundidad efectiva	0,01	0,89	-0,12	0,08	-0,08	-0,01
Pendiente	-0,11	-0,75	0,27	0,04	0,09	-0,17
Contenido de gravas	-0,03	0,74	0,33	0,09	0,10	0,09
Saturación	-0,17	-0,52	0,34	0,32	0,51	0,11
Humificación	-0,22	0,04	0,85	-0,05	0,23	0,12
Categoría agroproductiva	-0,07	-0,01	0,85	-0,02	-0,08	-0,10
Profundidad pedológica	0,02	-0,24	0,02	0,77	-0,29	0,03
Magnesio	0,25	0,24	-0,02	0,68	0,05	-0,03
Material basal	0,03	-0,50	-0,20	0,62	0,14	0,36
Textura	0,03	-0,22	-0,12	-0,01	0,62	-0,59
Sodio	0,15	0,07	-0,04	0,07	0,16	0,76

Rotated Component Matrix

Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a) Rotation converged in 9 iterations.

En un segundo componente aparecen: Erosión, Profundidad efectiva y contenido de gravas correlacionadas positivamente, en tanto, en este mismo componente principal aparecen otras dos variables pero correlacionadas negativamente, estas son: Pendiente y Saturación.



En el resto de los componentes aparecen otra menor contribución al rendimiento obtenido en aparecen la Humificación y la Categoría agrícola encuentran la Profundidad pedológica, Ma componente aparece la Textura y en el sexto y último componente aparece el contenido de Sodio en el suelo.

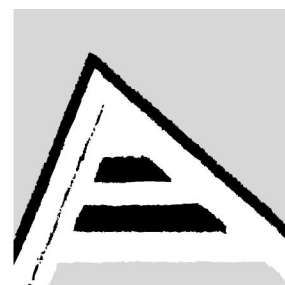
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

A continuación se procedió a obtener la matriz de correlación correspondiente. Los resultados de la matriz de correlación se muestran en la Tabla 2.4 (Anexo 02). Se aprecia que los coeficientes de correlación entre el Rendimiento y el Potasio total (0,94), la Materia orgánica (0,91), el Potasio intercambiable (0,97), y el Fósforo total (0,96), todos por encima de 0,90, son altamente significativos. Son altamente significativos también los coeficientes de correlación entre el rendimiento y el valor S (suma de cationes de cambio), el valor T (capacidad de cambio catiónico), el valor V (porcentaje de saturación de bases), contenido de calcio, el pH del suelo y la Humedad higroscópica.

Todos estos elementos corroboran la hipótesis de que el rendimiento de esta variedad de tabaco se encuentra en función de tres factores fundamentales:

- La fertilización, teniendo en cuenta una adecuada relación ínter nutriente.
- El contenido de materia orgánica en el suelo.
- La acidez del suelo (pH)

Se realizó adicionalmente un análisis cluster (Hierarchical Cluster Analysis). Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 2.11



* H I E R A R C H I C A L C L U S T E R

Universitat d'Alacant

Dendrogram using Average Linkage (Between-Group)

Universidad de Alicante

Rescaled Distance Cluster Combine

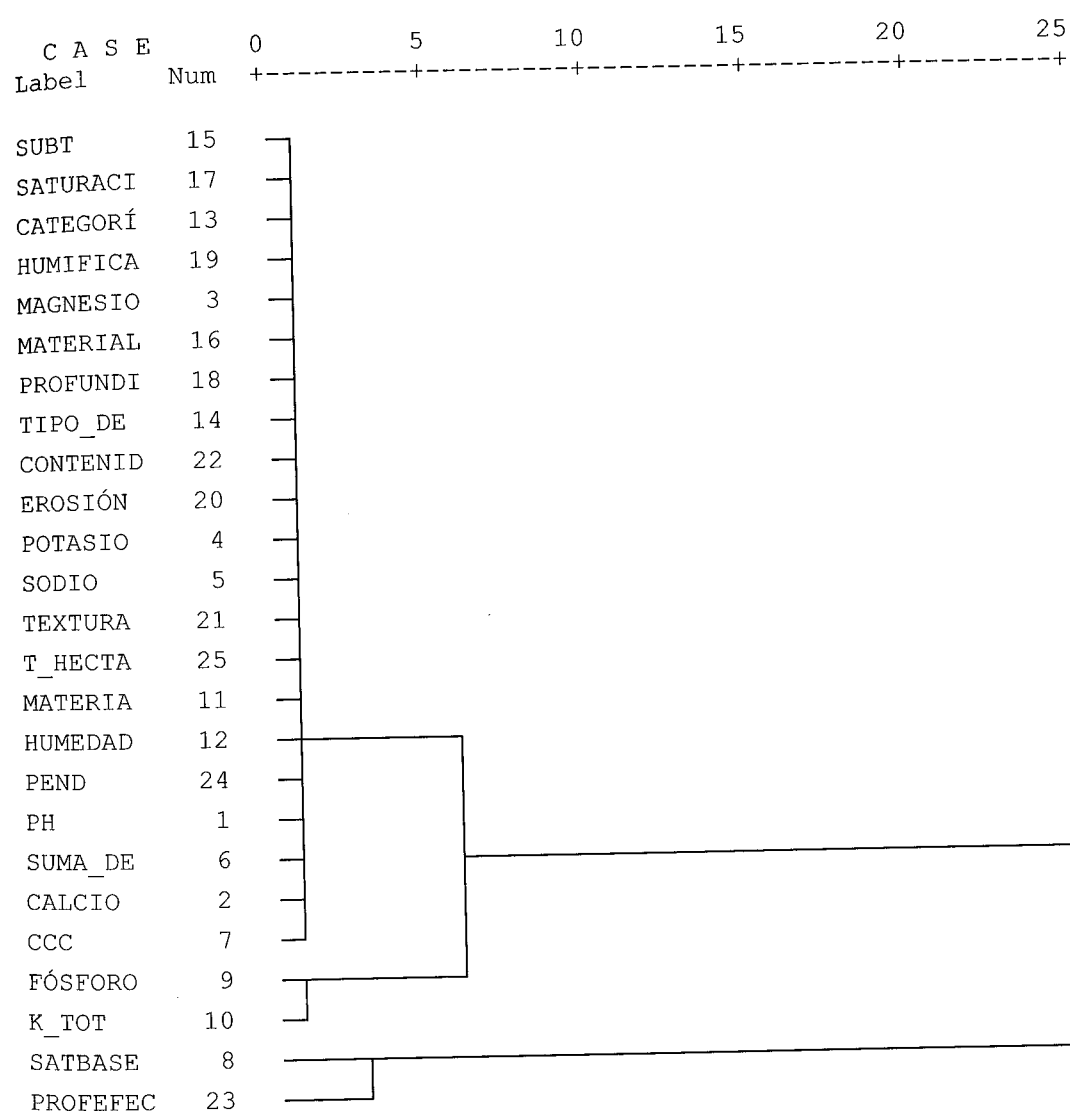
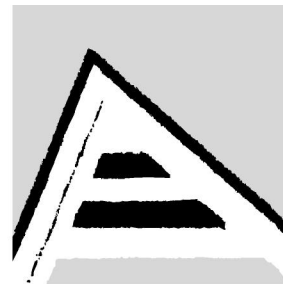


Figura 2.11 Análisis cluster



El resultado del análisis cluster (Figura 2.11) de Fósforo y Potasio total con el resto de la resultados anteriores y utilizando como herrar la siguiente cosecha un monitoreo de un grupo las Cooperativas estudiadas. Los resultados de este estudio se detallan en el Capítulo 3 de esta tesis.

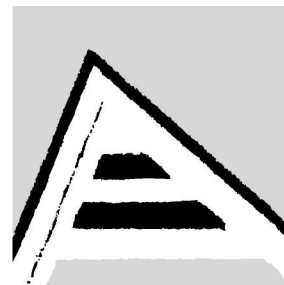
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Para concluir con la etapa de exploración y diagnóstico, se tomaron muestras de tabaco de las tres cooperativas y fueron sometidas al análisis por el método de Espectroscopia de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (EE-ICP). En la Tabla 2.5 se observa el resultado de los análisis. Se seleccionaron 9 muestras de tabaco de forma aleatoria entre los campos objeto de estudio.

Tabla 2.5.- Resultados generales de las muestras de tabaco de las tres CCS.

Elemento	No	Min	Med	Max	Std. Desv	Std. Error
K(%)	9	5,84	6,21	6,54	0,24	0,08
Ca(%)	9	4,40	4,63	4,96	0,21	0,07
Mg(%)	9	0,61	0,76	0,84	0,10	0,03
P(%)	9	0,39	0,43	0,47	0,03	0,01
Fe(%)	9	0,35	0,39	0,42	0,03	0,01
B(mg/kg)	9	40,40	42,62	45,00	1,70	0,57
Cu(mg/kg)	9	169	528	1228	496	165
Ni(mg/kg)	9	0,60	1,04	1,60	0,40	0,13
Mn(mg/kg)	9	97,4	131,9	193,4	43,7	14,6
Zn(mg/kg)	9	104,2	200,8	348,0	108,7	36,2
Cd(mg/kg)	9	0,48	0,84	1,28	0,32	0,11
Pb(mg/kg)	9	0,90	1,57	2,40	0,60	0,20

En el caso de algunos metales pesados, como el Níquel, el Cadmio y el Plomo, no se observan elevadas concentraciones, y en los tres casos sus concentraciones se encuentran por debajo de 1 mg/kg.



Se realizó un análisis comparativo entre las tres
se muestran en la Tabla 2.6. De los resultados (existen diferencias significativas entre las tres (Ni. Además, los niveles de estos metales pesa
de las tres cooperativas estudiadas se encuentran por debajo de los límites aceptados
por diferentes países que realizan importaciones de productos agrícolas.

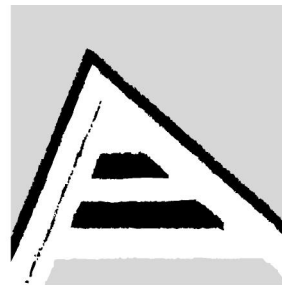
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 2.6.- Análisis comparativo entre las CCS

Conc.	CCS			Std. Desv	Std. Error
	FB	TL	TV		
K(%)	6,5a	6,2b	5,9 c	0,24	0,08
Ca(%)	4,6b	4,4b	4,9a	0,21	0,07
Mg(%)	0,84 a	0,80 b	0,63 c	0,10	0,03
P(%)	0,44 b	0,47 a	0,39 c	0,03	0,01
Fe(%)	0,40 b	0,42 a	0,35 c	0,03	0,01
B(mg/kg)	41,1 b	42,1 b	44,6 a	1,70	0,57
Cu(mg/kg)	195,7 b	1189,3a	200,2 b	496	165
Ni(mg/kg)	1,07 a	1,13 a	0,93 a	0,40	0,13
Mn(mg/kg)	107,2 b	98,6 c	189,9 a	43,7	14,6
Zn(mg/kg)	154,4b	342,7a	105,4c	108,7	36,2
Cd(mg/kg)	0,85 a	0,91 a	0,75 a	0,32	0,11
Pb(mg/kg)	1,60a	1,70a	1,40a	0,60	0,20

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación Student-Newman-Keuls (SNK)

Como se observa en la Tabla anterior, existen diferencias significativas entre las tres CCS, con respecto a las concentraciones de los elementos encontrados en la hoja de tabaco. Así, difieren los contenidos de Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo, Hierro, Boro, Cobre, Manganeseo y Zinc. Se destaca en la CCS Tomás León la alta concentración de Cobre, lo que coincidió con la aplicación de un fungicida a base de Cobre en algunos campos de esta cooperativa. Los elevados contenidos de este elemento no se registraron en campañas posteriores.



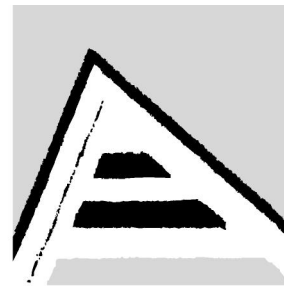
CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN EDÁFICA Y PRODUCTI TABACALERA DE SAN JUAN Y MARTÍNEZ; MANEJO POR MEDIO DE UN SIG.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

CONCLUSIONES:

1. Se estableció un Sistema de Información Geográfico (SIG) dentro de la Empresa tabacalera de San Juan y Martínez en la Provincia de Pinar del Río, que facilita el análisis de todas las variables introducidas en el sistema y conduce a una más rápida y eficiente toma de decisiones.
2. Los contenidos de los metales pesados Ni, Cd y Pb en la hoja de tabaco se encuentran por debajo de los niveles máximos permitidos y no afectan la calidad exportable de este producto.
3. Los rendimientos de la variedad de tabaco "Criollo 98" se encuentran en función de tres factores fundamentales:
 - La fertilización, teniendo en cuenta una adecuada relación ínter nutriente.
 - El contenido de materia orgánica en el suelo.
 - La acidez del suelo (pH)



CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD “C COOPERATIVAS DE LA EMPRESA TABAC PINAR DEL RÍO

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

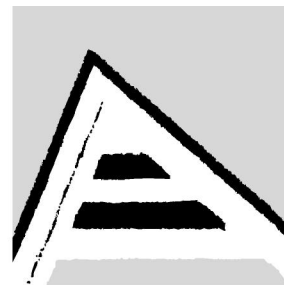
INTRODUCCIÓN

En el Capítulo anterior se inició el estudio de tres Cooperativas de la Empresa Tabacalera del Municipio de San Juan y Martínez en la Provincia de Pinar del Río. Estas Cooperativas se dedican en lo fundamental al cultivo del tabaco, el cual es muy exigente a determinadas características del suelo en que se planta, después de la etapa de semillero. Muchos esfuerzos se realizan antes, durante y posterior a la cosecha en la dirección de lograr un manejo sostenible de los suelos dedicados a esta tarea, de gran impacto económico para la Provincia. En relación con los suelos de estas cooperativas se profundizará mas adelante.

El tabaco es sumamente exigente al suelo, ya que este importante componente del agroecosistema tiene marcado efecto en el desarrollo de la planta, su rendimiento y calidad y, por tanto, en la eficiencia agroeconómica de este cultivo. Al igual que las condiciones climáticas que hay que analizarlas en conjunto, el suelo hay que interpretarlo como un sistema (Guardiola, 1990). No obstante para su mejor comprensión se presenta una valoración de los requerimientos del tabaco en relación con las principales cualidades físicas, químicas y biológicas.

Textura.

El tabaco es una planta que precisa de adecuados contenidos de aire en el suelo. Su sistema radical se caracteriza por presentar poco poder de penetración, y a pesar de ser una planta dicotiledónea, el sistema de raíces es clasificado como fasciculado denso debido a la atrofia que sufre en el arranque de la postura en el semillero, extraordinariamente sensible al exceso de humedad. Por tanto, desde el punto de vista



textural el suelo debe ser friable, con buena
macro y microporos (Cuba, 1984; Mari y Hondal,

Universitat d'Alacant

Los contenidos de materia orgánica son capaces
sino el comportamiento de sus cualidades químicas y biológicas, por tanto una textura
quizás dudosa, pero con adecuados tenores de materia orgánica es mejor que otra bien
definida con bajos niveles de ella. El efecto tan favorable de la materia orgánica puede
argumentarse con el criterio científico de que ella es capaz de desagregar los suelos
muy arcillosos y agregar los arenosos (García, 1993).

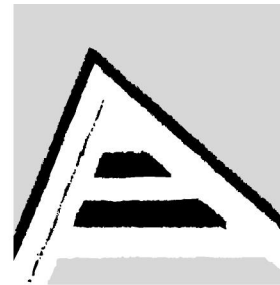
Universidad de Alicante

No todos los tipos de tabaco requieren de la misma textura, lo que indica que no existe
una alta plasticidad en esta planta para esta característica. Los más exigentes a ella
son: el Virginia y el tabaco negro cultivado bajo tela y los menos exigentes, lo que no
significa que la textura en un momento dado sea limitante para su cultivo, el Burley y los
tabacos negros de sol ensartado y en palo. Se puede apreciar de modo general, que es
muy importante la relación entre textura, estructura y contenidos de materia orgánica,
debido a que ello permite seleccionar suelos, sobre todo arcillosos, que por tener
adecuados tenores de materia orgánica y estructura se caractericen por poseer
propiedades físicas, químicas y biológicas que satisfagan las exigencias del tipo de
tabaco a plantar (Mari y Hondal, 1984).

Estructura.

La estructura ejerce marcado efecto sobre la relación aire-agua del suelo, la
permeabilidad y, por tanto, en el drenaje interno, en la susceptibilidad a la erosión y la
porosidad entre otras cualidades físicas y en los manejos fitotécnicos del
agroecosistema, tales como: el laboreo del suelo, riego, producción de propágulos y el
desarrollo del sistema de raíces de la planta (González, 1992).

Muchos de los suelos dedicados al cultivo del tabaco en Pinar del Río carecen de
estructura por ser arenosos, pero otros han experimentado modificaciones
desfavorables de este indicador, debido al mal manejo e inestabilidad en los



agroecosistemas. Es de suma importancia la degradación (Riverol, 1986).

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

Drenaje interno y externo.

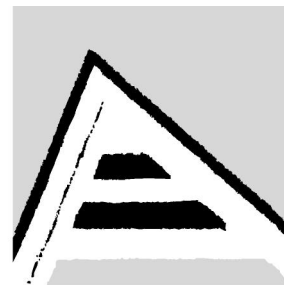
El tabaco es un cultivo que requiere del drenaje interno y externo, al extremo de que un suelo que no cumpla con estos requisitos no debe ser empleado para este fin. Se pudiera admitir dificultades con el drenaje externo, el que pudiera ser mejorado sin grandes inversiones. Por lo general los terrenos caracterizados por el mal drenaje interno se descartan para este cultivo, lo que no quiere decir que en la actualidad no exista alrededor de un 10 a 15 % de campos que lo presenten (Quintana, 1981).

Densidad aparente.

La densidad aparente mantiene estrecha relación con el desarrollo del sistema radical, por cuanto mientras mayor sea el valor de ella las raíces crecerán con mayor dificultad. La tendencia será a una mayor compactación y se presentarán afectaciones en la relación aire-agua, en la porosidad y calidad del laboreo del suelo. De ahí que los suelos dedicados al tabaco se seleccionen con densidades aparentes bajas y que se trate de emplear tecnologías poco agresivas al medio ambiente, para que no se reduzcan significativamente los contenidos de materia orgánica y de tal forma se mantenga en niveles aceptables de ella (Bustios, 1999).

Profundidad de la capa activa.

Este es uno de los factores limitantes del rendimiento del tabaco en Pinar del Río, ya que una proporción bastante significativa de los campos presenta profundidad de la capa activa inferior a 20 cm. Se plantea que este cultivo precisa de suelos profundos, no menos de 40 a 50 cm, aunque en la práctica se desarrolla bien en profundidades de 30 a 40 cm. La falta de profundidad de la capa arable puede conducir a las afectaciones. Aún cuando hay muchos factores que afectan la profundidad de la capa arable del suelo, es la erosión la causa fundamental que incide en ella, por lo que se deben establecer todas las medidas para contrarrestarla (Cabrera, et al. 1996).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Porosidad.

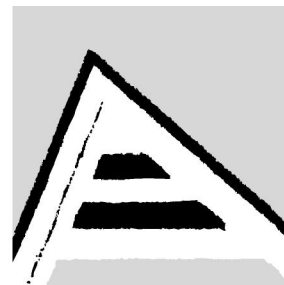
El tabaco requiere de suelos de alta porosidad entre macro y microporos, dependiendo ello del manejo en general del agroecosistema y en parte de su contenido de materia orgánica. Los macroporos influyen en la aireación y la capacidad de infiltración; mientras que los microporos determinan la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, así como, la disponibilidad de agua para la planta y el movimiento capilar vertical y lateral (Azcón, et al. 2000).

Permeabilidad.

Suelos poco permeables no son adecuados para el tabaco. Para contrarrestar la baja permeabilidad, lo primero que se debe hacer es el diagnóstico de la causa que la origina y a partir de éste trazar las medidas para atenuarla. La aplicación de materia orgánica además de mejorar la permeabilidad tiene efectos positivos muy marcados por lo que se descarta que no se recomiende esta enmienda. No sucediendo así con la subsolación, la que se recomienda en suelos relativamente muy profundos y cuando hay piso de aradura, capa endurecida ya sea de arcilla u otro obstáculo y se realice en el momento adecuado, con la humedad requerida y los equipos e implementos recomendados (García, 1993).

Retención de humedad.

Por lo señalado en acápites precedentes y teniendo en cuenta la necesidad de regular los regímenes hídrico y nutricional, no se admiten suelos para el cultivo del tabaco que se caractericen por su alta retención de humedad. Se debe tener en consideración además que en estos campos se dificultaría el control de enfermedades, fundamentalmente pata prieta y moho azul, a la vez que se afectarían los tenores de oxígeno en el suelo, lo que repercutiría negativamente en el desarrollo radical. De persistir estas condiciones y presentarse precipitaciones aún ligeras, la recolección resultaría difícil (Cuba, 1998).



Acidez del suelo (pH).

Relacionado con la concentración de hidrogenio el valor de pH y la propiedad buffer del suelo, aspectos, de la capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación por bases, la cantidad y calidad de las arcillas y de la estabilidad del agroecosistema.

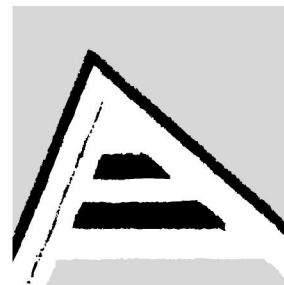
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los suelos de Pinar del Río en su mayoría son poco arcillosos y por lo general arenosos, tienen poca capacidad buffer y, por tanto, se desestabilizan muy fácilmente cuando no se realiza un adecuado manejo en ellos. Esto unido a los valores totales de precipitaciones, cercanos a 1 300 mm, y a la relativa alta capacidad de infiltración favorece un mayor lavado de bases, lo que determina los bajos valores de pH que se reportan en estos suelos (Bustios, 1982).

El tabaco de modo general, se desarrolla bien en rangos de pH entre 4 y 8,5. En Cuba no se presentan dificultades ocasionadas por el pH alcalino, pero sí por acidez, ahora bien, cuando la acidez hidrolítica se encuentra por debajo de 4,5 unidades, se pueden presentar síntomas de toxicidad, dado a que en tales condiciones el hierro, aluminio y manganeso se encuentran muy solubles en la solución del suelo y pueden ser asimilados por la planta en cantidades muy superiores a las que esta tolera. Lo más usual es que cuando existe un campo con pH muy ácido se aplique carbonato de calcio y no se mejore la capacidad buffer del suelo y a su vez se mantengan tecnologías de alta agresividad al medio ambiente, lo que indudablemente no es sostenible desde los puntos de vista económicos, social y ambiental. Por ello para mantener el pH en los rangos adecuados al tabaco durante muchos años, se precisa de la utilización de medidas que se integren en el sistema agrícola con concepción agroecológica.

Materia orgánica.

No todos los tipos de tabaco requieren iguales niveles de materia orgánica. De manera general se dice que el tabaco no necesita altos niveles orgánicos en el suelo y se considera que no deben mantenerse por encima de 3 % ni por debajo de 1,5 %. Esto se



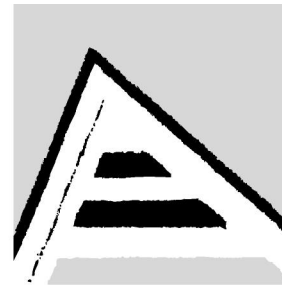
podría explicar teniendo en consideraci3n
nutricional e h3drico de la planta. El tabacc
tenores de materia org3nica (0,8 y 1,2 %); m
puros y cigarrillo negro requieren de altos
envolturas los m3s altos (superiores al 3 %).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Uno de los factores que m3s limita la calidad y el rendimiento del tabaco en Cuba es el bajo contenido de materia org3nica de los campos, sobre todo porque no se utilizan fuentes org3nicas y hay gran deterioro del entorno. Hoy d3a es dif3cil encontrar terrenos, incluso de tabaco tapado en que se sobrepase el 2,2 % de materia org3nica y es com3n que los de relleno se sit3en entre 0,8 y 1,2 % (Garc3a, 1993).

La necesidad de materia org3nica en los suelos, ha dado lugar a que se utilicen los compost procedentes de residuos s3lidos urbanos y de aguas residuales. Esto se debe, adem3s de por ser unos excelentes fertilizantes org3nicos por su elevada concentraci3n en nitr3geno y fosfatos, se contribuye a dar salida a la cantidad de toneladas de lodos que son producidos en las estaciones de depuraci3n. Hay que decir que, adem3s, es un recurso muy barato, y que aportan elementos esenciales como hierro, cobre, manganeso y zinc. En contrapartida a todo lo mencionado anteriormente, el problema se presenta cuando se encuentran metales pesados y elementos traza met3licos, los cuales tienen en el suelo una concentraci3n inferior a 0,1%, siendo los m3s comunes el cadmio, cromo, cobre, mercurio, n3quel, plomo, ars3nico y zinc.

Uno de los principales problemas que presentan estos elementos, es la capacidad que tienen a cambiar de forma y de elemento asociado con los constituyentes del suelo. Algunas veces estas formas son inertes y dif3cilmente detectables, y otras veces son qu3micamente muy activas, lo cual hace que se solubilizcen, se recombinen, circulen dentro de los suelos, llegue a la capa fre3tica o a los vegetales. Tan solo la identificaci3n de sus distintas formas nos informar3 sobre este polimorfismo.



La presencia de esta carga metálica, con diferentes plantas redistribuyen estos elementos conlleva evidentes riesgos sanitarios y edafológicos.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

La necesidad de aporte de materia orgánica al suelo agrícola justifica el estudio de la sustitución parcial o total, según usos y cultivos, de los fertilizantes químicos tradicionales por abonos orgánicos procedentes de residuos, pero, el posible daño, en forma de contaminación de suelos por parte de elementos potencialmente tóxicos en determinadas concentraciones y condiciones plantea el continuo estudio de sus impactos en el suelo y los cultivos.

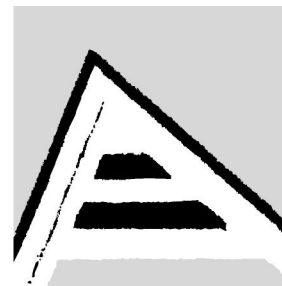
Contenido de cloruro.

Si el objetivo comercial del tabaco no es para rapé, ni para mascar, entonces es fundamental valorar este aspecto debido a que el cloro tiene un marcado efecto en la combustibilidad de la hoja. No se trata ni del efecto salino que ocasiona el cloruro de sodio, ni de que este elemento resulte tóxico en la planta, ya que puede encontrarse hasta en el 10 % de la masa seca total, pero tan solo con 0,5 a 1 % es suficiente para que la hoja sea de mala combustibilidad (Cuba, 2000).

Los suelos que contengan más de 1 % de cloruros o que tengan tendencia a mantener esos valores no deben ser elegidos para cultivar en ellos el tabaco, aún cuando se pueden emplear medidas que contribuyan a bajar dicho contenido. Es sumamente importante diagnosticar la causa que motiva la llegada del cloro al suelo, ya que es posible con su eliminación que por medio de las precipitaciones y otras sencillas alternativas se pueden alcanzar niveles bajos. Esto es factible cuando la causa sea la fuente de riego y/o la aplicación de materia orgánica.

Relación internutrientes.

El tabaco es una planta que extrae grandes cantidades de nutrientes en un período relativamente corto, siendo el orden de extracción el siguiente: potasio, nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio y elementos menores. Por su naturaleza y bajos contenidos



de materia orgánica, los agroecosistemas dedicados particularmente a la producción de tabaco, requieren, en particular, en nitrógeno y fósforo; sin embargo, los fertilizantes solubles y de potasio se catalogan como medios de producción (García, 1993).

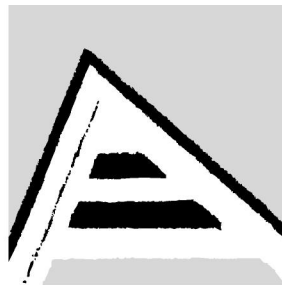
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Uno de los problemas de los campos dedicados al tabaco en Pinar del Río es el relativo a la desproporción en la relación internutrientes y como no son aplicados los fertilizantes a través de portadores, sólo existe dos o tres formulaciones completas y además no se hace rotación de cultivos, tal problemática es difícil de resolver, al menos a corto plazo.

Capacidad de intercambio catiónico.

Mientras mayor es la capacidad de intercambio catiónico de un suelo, menores serán las pérdidas de nutrientes, ya sean por lixiviación, percolación o insolubilización. Por este motivo se trata de seleccionar suelos con relativa alta capacidad de intercambio catiónico, aunque se debe señalar que esta cualidad depende, en gran medida, de la cantidad y tipo de arcilla presente en el suelo y de los tenores de materia orgánica (Laski, 1988). En el caso de los suelos de Pinar del Río, que son de bajos contenidos de arcilla su capacidad de intercambio catiónico es bastante baja, por lo que se debe incrementar por medio de la aplicación de materia orgánica, para facilitar la formación de coloides orgánicos.

No es posible lograr alta efectividad en el aprovechamiento de fertilizantes en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y ello presupone, en el caso de aquellos nutrientes fácilmente lixiviables, como son el nitrógeno y en menor medida el potasio que sean aplicados de forma fraccionada y aún así, en caso de precipitaciones intensas y frecuentes es necesario añadir dosis complementarias. Esta práctica se sigue con periodicidad en los semilleros tradicionales.



Cadmio y Plomo en el tabaco.

En general el tabaco es utilizado para la fumación y se mastica al fumar el puro o simplemente lo mastican. El organismo extrae extractos adicionales a los que penetran en el cuerpo. Se debe considerar la toxicidad de algunas especies químicas en función del consumo, por las personas adictas, de la hoja de tabaco.

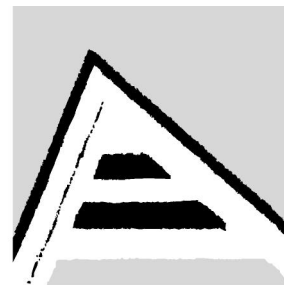
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La toxicidad del cadmio se deriva de la capacidad que tiene para unirse a ciertas especies reactivas o agentes complejantes, dando lugar a la inhibición enzimática, provocando disfunciones en el crecimiento y metabolismo tisular. El 55º informe del Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios (Ginebra, junio 2000), en su evaluación de cadmio como contaminante, siguió manteniendo la Ingesta Semanal Tolerable Provisional (ISTP) del cadmio en 7 µg /kg de peso corporal. (Almudena, A.; Lizaso, J.; 2003).

El Reglamento 466/2001 de la Comisión, establece el contenido máximo de cadmio en varios alimentos, entre ellos carne de animales (0,05 mg/kg, excepto carne de caballo, que fija 0,2 mg/kg), hígado y riñones de animales de abasto (0,5 mg/kg y 1,0 mg/kg respectivamente), carne de pescado (0,05 mg/kg, excepto ciertas especies que se permite hasta 0,1 mg/kg), crustáceos (0,5 mg/kg), moluscos bivalvos y cefalópodos (1,0 mg/kg) y diversos vegetales con valores que oscilan desde 0,05 hasta 0,2 mg/kg.

Respecto a la limitación vigente establecida en piensos y en materias primas destinados a la alimentación animal, el Real Decreto 747/2001 establece de 0,5-1 mg/kg para piensos compuestos, hasta 5 mg/kg en piensos minerales, 1 mg/kg en materias primas de origen vegetal y 2 mg/kg para las de origen animal, permitiéndose un valor de hasta 10 mg/kg en el caso del fosfato.

La OMS establece la ISTP de Pb en 25 µg/kg peso. La principal vía de ingestión de la población que no padece exposición laboral a este elemento es la alimentación. Cuando la cantidad de Pb ingerida es superior a la que se elimina, el Pb se deposita en distintos



órganos, especialmente en huesos, hígado, riñ

El contenido máximo del plomo también se er

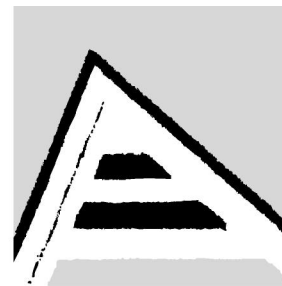
Reglamento 466/2001 del Consejo. Los límite

leche y preparados para lactantes (0,2 mg/kg), carne de animales de abasto (0,1 mg/kg), despojos comestibles de animales de abasto (0,5 mg/kg), carne de pescado (0,2 mg/kg excepto ciertas especies que admiten 0,4 mg/kg), crustáceos (0,5 mg/kg), moluscos bivalvos (1,5 mg/kg), cefalópodos (1,0 mg/kg), grasas y aceites (0,1 mg/kg) y diversos productos vegetales y derivados que oscilan en contenido máximo de Pb entre 0,05 y 0,2 mg/kg).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los límites legales para el Plomo establecidos por el Real Decreto 747/2001, son los siguientes: materias primas para la alimentación animal 10 ppm, excepto forrajes verdes, fosfatos y levaduras cuyos límites son respectivamente 40, 30 y 5 ppm. Para los piensos compuestos, los valores son de 5 ppm si se trata de piensos completos y de 10 ppm si son piensos complementarios (Almudena, 2003).

Teniendo en cuenta que el tabaco es un cultivo estratégico en la obtención de divisas para el país y en particular para la Provincia de Pinar del Río, que es absolutamente necesario mantener la calidad de sus producciones, que tiene fama de ser el mejor del mundo, que la calidad de las producciones están estrechamente relacionadas con la calidad de los suelos y sus propiedades, que en los últimos años se ha producido un incremento en la existencia de trazas de metales pesados en las hojas de tabaco, por todo lo anterior, se realiza este trabajo, con el objetivo de caracterizar, en la producción, la planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L., variedad "Criollo 98" en suelos de tres cooperativas de créditos y servicios pertenecientes a la Empresa Tabacalera del Municipio de San Juan y Martínez, municipio de mejor calidad en la provincia y en el país, en la producción de la hoja.



MATERIALES Y MÉTODOS

El área seleccionada para el estudio pertenece

de San Juan y Martínez de la Provincia de Piná

área que comprende las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) Tomás León,

Tomás Valdés y Francisco Blanco, con un área total de 901,51 hectáreas, de las cuáles

437,64 están dedicadas al tabaco. Se seleccionaron, de forma aleatoria, 10 campos de

cada una de las cooperativas para los análisis correspondientes. Se determinaron

contenidos totales en suelo y en la planta de tabaco. En el caso de los micronutrientes y

metales pesados se estudiaron los niveles bioasimilables o extraíbles.

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

En la Tabla 3.1 se resumen los datos climáticos de la zona para el periodo comprendido entre Enero 2000 y Diciembre 2004.

Tabla 3.1.- Datos climáticos para el Municipio de San Juan y Martínez

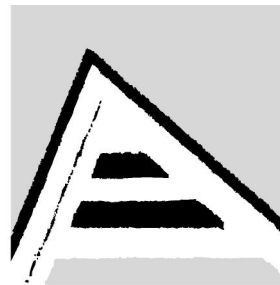
Año	Tem_Max Promedio	Tem_Min Promedio	Tem_Med Promedio	Hr_Med Promedio	Lluvias_24hSuma	Lluvias Anual
1995	29,71	20,61	24,62	83,02	73,54	2647,50
1996	29,47	20,04	24,18	81,59	44,70	1609,30
1997	30,04	21,07	24,81	84,31	57,52	2070,70
1998	30,23	21,13	25,09	82,52	54,40	1958,30
1999	29,80	20,08	24,51	81,30	47,99	1727,60
2000	29,95	20,05	24,50	80,80	35,21	1267,50
2001	30,00	20,40	24,69	80,22	35,19	1267,00
2002	30,31	20,86	25,03	82,26	58,83	2118,00
2003	29,92	20,61	24,95	81,64	33,65	1211,30
2004	30,12	20,20	24,74	78,86	31,74	1142,70

Estación: San Juan y Martínez (78314)

Periodo: 2000 - 2004

La altitud del área oscila entre los 25 y los 85 metros sobre el nivel medio del mar; y presenta un relieve que va de casi llano hasta ligeramente ondulado con pendientes entre el 1.5 y el 4%.

El rango de temperaturas promedios varía desde 20,05 °C hasta 30,31 °C. La Humedad relativa promedio varía desde el 78,86% hasta el 82,26%. Humedades superiores



favorecen la aparición de enfermedades fu
necesario destacar que el cultivo del tabaco s
partir del último trimestre del año y el primer t
períodos lluviosos no han incidido directament

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Las condiciones del drenaje superficial son buenas dadas por la topografía predominante y la red de cañadas y arroyos, incluyendo la prolongación de los ríos San Juan, San Sebastián y Río Seco.

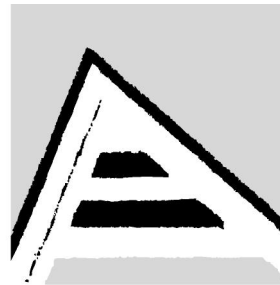
La vegetación natural como consecuencia del desarrollo agrícola ha sido casi extinguida. En las áreas no cultivadas como las márgenes de ríos y arroyos, aún se observan guásimas, palma real, algarrobo, así como otras plantas de manigua. En áreas cultivadas crecen otras plantas como la verdolaga, el chamico, malva blanca, dormidera y diversas gramíneas típicas de sabanas arenosas.

DETERMINACIÓN DE NIVELES FONDO

El muestreo seleccionado en este caso es tanto de tipo horizontal como vertical. La selección de los puntos de muestreo se realizará en función de la unidad fisiográfica de pertenencia. En cada punto se tomarán hasta 8 muestras, a una profundidad de 0 a 20cm, posteriormente se mezclan todas las porciones y mediante un procedimiento de cuarteo se selecciona una muestra de un kilogramo aproximadamente, la cual se identifica con el número del campo a que pertenece y la cooperativa correspondiente. Las muestras se tomaron con barrenas o abriendo las calicatas correspondientes. Las muestras se introducen en bolsas de plástico herméticamente cerradas para que conserven la humedad.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO

La muestra se somete a un procedimiento de secado al aire. Una vez secas se separan de elementos gruesos, se reduce el tamaño de los agregados y se tamizan a través de malla de 1mm. Todos los datos obtenidos están referidos a cantidad de muestra seca.



DETERMINACIÓN DEL pH

Se toman 10 g de suelo, se añaden 25 ml de agua destilada y se agita durante 15 minutos. Se mide el pH directamente en la suspensión.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

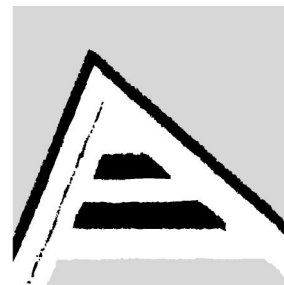
Se midió la conductividad en el líquido sobrenadante obtenido para la medida del pH. Los análisis de conductividad y de pH se realizaron en los laboratorios de Química Analítica de la Universidad de Pinar del Río.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE LOS METALES PESADOS

La digestión por microondas permite preparar la muestra para el análisis multielemental por Espectroscopía de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (EE ICP) siguiendo la norma EPA 3051. Se pesa una cantidad de muestra entre 0.4 y 0.5 g en un vaso de teflón de alta presión donde se añaden 10 ml de ácido nítrico para análisis 65%. Después de finalizada la digestión se deja enfriar durante una hora. Se abren los reactores y se filtra el contenido enrasando a 25 ml. La muestra está lista para el análisis. Los reactores se limpian usando 5 ml de ácido nítrico al 60% en las mismas condiciones.

DETERMINACIÓN DE NIVELES EXTRAÍBLES

Existen diferentes sistemas utilizados para la determinación de los niveles extraíbles de micronutrientes y metales pesados. En todos se produce una aproximación de lo que puede extraer el sistema radical de las plantas. Se afirma que la utilización de ácido acético 0,43M da idea de la fracción disponible de metal en el suelo cuando se realizan estudios sobre movilidad y biodisponibilidad de metales en suelos presumiblemente contaminados. Además la concentración utilizada 0,43M es la más apropiada para la todo el rango de pH de los suelos. En este sentido la adopción en nuestro estudio de HAcO 0,5M como reactivo extractante para la determinación del contenido biodisponible de Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Co en suelos, resulta adecuado ya que permitirá comparar resultados de otros estudios de características similares. Esta extracción se realiza añadiendo a 5 g de suelo seco, 50 mL de la disolución extractiva de HNO₃ 0,5 mol/L. Se



mantiene durante 5 minutos en agitación y se
hasta 50 mL y se guarda en un frasco debidar

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

METODOS ESTADÍSTICOS UTILIZADOS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO UNIVARIANTE

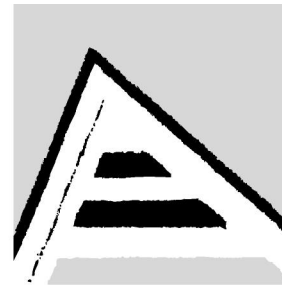
Se han caracterizado las poblaciones de datos obtenidos para cada una de las variables determinadas, mediante medidas de tendencia central, variabilidad y descriptiva de la distribución del conjunto de datos.

ANÁLISIS DE VARIANZA

Con el fin de comprobar la homogeneidad de la zona estudiada con respecto al contenido en metales pesados, se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Esta técnica estadística estudia el efecto producido por la variación de dos parámetros, para comprobar su significación estadística. En nuestro caso, uno de los parámetros es la distribución de los metales y otro las cooperativas estudiadas. Las muestras de suelo de las parcelas seleccionadas son representativas de la zona objeto de estudio.

PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN DE MUESTRAS APAREADAS

Son contrastes de hipótesis empleados para comparar dos a dos muestras y determinar si existen diferencias significativas entre ellas o ambas representan a la misma población. La prueba de significación aplicada dependerá de si las poblaciones que se comparan siguen una distribución normal o no. Si las poblaciones corresponden a una distribución normal se aplica una prueba t por parejas y cuando no lo sean se utilizará un método no paramétrico.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El análisis en componentes principales, ACP

1994), es un procedimiento matemático de reducción de información, a veces no aparente a primera vista, de una serie de datos relativos a diversas muestras u objetos. Dichos resultados experimentales pueden presentarse en forma de matriz, en la cual cada fila corresponde a un objeto (muestra de suelo) y cada columna a una variable o magnitud analítica (pH, conductividad, concentración en determinado metal etc.).

Universitat d'Alacant

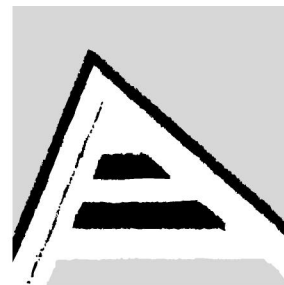
Universidad de Alicante

Es de utilidad cuando el volumen de datos de que se dispone dificulta el reconocimiento de pautas. El ACP es una técnica para reducir el número de datos cuando está presente la correlación. Se trata por tanto de encontrar componentes principales que sean combinación lineal de las variables originales que describen cada muestra. Los coeficientes de la combinación lineal, se eligen de manera que las nuevas variables, no se encuentren correlacionadas unas con otras. Las variables pueden ser de diverso origen desde el punto de vista químico-analítico, en nuestro caso, son los parámetros físico-químicos analizados en las muestras de suelo.

Existen soluciones muy diferentes que pueden satisfacer la ecuación matricial interesando sólo aquella que cumpla los siguientes requisitos:

1. Deben explicar la mayor parte de la varianza de la tabla original.
2. Las nuevas variables latentes deben ser ortogonales
3. El número de factores F debe ser tan pequeño como sea posible.

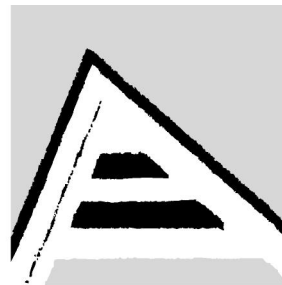
Los valores propios (eigenvalues) de los componentes principales representan el porcentaje de varianza que puede explicar el componente principal, mientras que las cargas de los factores (loadings) son coeficientes que expresan la contribución de las variables originales al componente principal.



Una rotación de los ejes o componentes p
variables que expliquen un mayor porcentaje
Se ha elegido la rotación Varimax, que cc
variables que contribuyen poco, aumentand

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

más. Mediante la aplicación de la rotación se obtienen una serie de valores y factores
de significado totalmente paralelo a los anteriores valores propios y factores (sin rotar).
La representación gráfica de los nuevos valores de los componentes en las muestras
sobre los dos o tres primeros factores rotados permite visualizar la presencia de grupos
de objetos. La determinación se ha realizado con el paquete estadístico SPSS 10.0



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de estudiar el comportamiento de producción, así como las características de cultivo y la presencia en ellos de los elementos de trabajo en el que, además, se determinaron los factores limitantes de estos suelos, las medidas para mejorar dichos factores y los posibles rendimientos a alcanzar.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

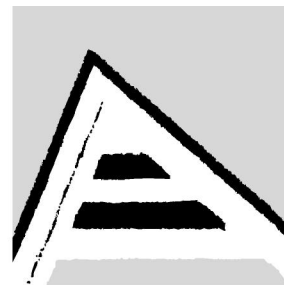
En las 901.51 hectáreas estudiadas se observaron 4 tipos genéticos de suelos (Tabla 3.2), predominando los ferralíticos cuarcíticos amarillos, y los amarillo rojizo lixiviados y aluviales. Estos sub-tipos se correlacionaron con 3 órdenes de la Soil taxonomy sobresaliendo el orden Ultisol.

Tabla 3.2.- Área y suelos estudiados

Tipo genético	Área (ha)	Descripción	Soil taxonomy (Orden)
V	456,73	Ferralítico cuarcítico amarillo lixiviado	Ultisol
VI	109,79	Ferralítico cuarcítico amarillo rojizo lixiviado	Ultisol
VIII	53,92	Ferralítico pardo rojizo	Inseptisol
XXVI	281,07	Aluvial	Entisol
Total	901,51		

El 51 % de los campos responden a las características de suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado). Estos son suelos de perfil ABC o ABL formados a partir de esquistos cuarcíticos micáceos (generalmente con venas de cuarzo) en los cuales ocurre el proceso de ferralitización que conlleva a la formación de minerales arcillosos del grupo de las caolinitas y también un poco de vermiculita y clorita, así como óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio que le confieren el color amarillo característico.

La capacidad catiónica cambiante CCC es menor que 5 cmol (+)Kg.⁻¹, estando los suelos por lo general, fuertemente desaturados, lo cual provoca que el pH sea ácido (menor que 6) con predominio del aluminio en la acidez cambiante.



Presenta un porcentaje de huminas de 44 - 40.4-0.5 que disminuye rápidamente en profundidades normales es mayor que 15, pero en los estratos superiores muestran las características químicas y físicas estudiados. Se aprecian valores de pH muy ácidos en el tipo de suelo Aluvial, que representa el 31% del área total estudiada.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 3.3.- Características físico-químicas de los subtipos de suelo

Sub - Tipo de suelo	Área (ha)	pH/ CIK	%		cmol.Kg ⁻¹ de suelo						%		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	M.O.	hy
VA	456,73	4,9	31,3	15,0	2,7	0,12	0,46	0,04	3,37	6,52	52	1,07	1,3
VI A	109,79	4,2	21,0	21,6	2,6	1,25	0,46	0,08	4,35	7,6	57	1,53	1,5
VIII A	53,92	5,5	26,5	16,6	6,9	1,46	0,19	0,04	9,04	12,2	74	1,7	1,8
XXVIS	255,16	4,3	40,8	20,1	2,0	1,15	0,25	0,08	3,48	6,02	58	1,04	1,3
XXVI T	25,91	3,8	39,9	16,7	1,0	0,37	0,44	0,04	1,85	5,32	35	0,76	1,6
Std. Deviation		0,7	14,5	2,8	2,3	0,6	0,1	0,2	2,7	2,7	13	0,4	1,8
Std. Error		0,3	6,5	1,2	1,0	0,3	0,06	0,09	1,2	1,2	6	0,2	0,8

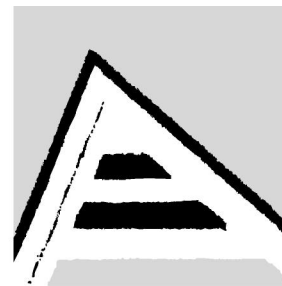
S = suma de bases (calcio, magnesio, potasio y sodio)

T = Capacidad de cambio catiónico

V = Porcentaje de saturación de bases

Los análisis agroquímicos arrojaron un total de 284.79 hectáreas con el pH menor de 5, 46.24 con bajo contenido de fósforo, 149.38 con bajo contenido de potasio, 365.65 con bajo contenido de magnesio y 237.8 con bajo contenido de materia orgánica en áreas dedicadas al cultivo del tabaco.

La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinto dependiendo de una serie de características edáficas. El pH es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. La adsorción de los metales



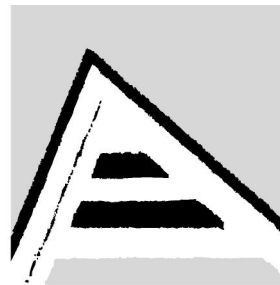
pesados está fuertemente condicionada por e
solubilidades (Cano Parrilla et al., 1997).

Universitat d'Alacant

El contenido de materia orgánica (MO) es | Universidad de Alicante
variedades de tabaco se desarrollan adecuadamente en estas condiciones. La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables. La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo. La estabilidad de los complejos tiende a seguir la siguiente secuencia: $Cu > Fe > Mn = Co > Zn$. (Cano Parrilla et al., 1997)

La humedad higroscópica (Hy), en todos los casos por debajo de 8 es adecuada para el cultivo del tabaco y en general para la mayoría de las especies, sobre todo para aquellas especies que necesitan una adecuada aireación del suelo, como es el caso de la planta de tabaco.

La suma de las bases (valor S), corresponde a la suma de los principales cationes retenidos por el suelo, (Ca, Mg, K, Na). Los valores encontrados se corresponden con los reportados por el MINAGRI para los suelos de Cuba. La capacidad de cambio catiónico (Valor T) se encuentra en casi todos los casos por debajo de 10 lo que clasifica como valores muy bajos para estos suelos. El porcentaje de saturación (Valor



v) esta muy relacionado con el pH y con la ac
ácidos que requieren enmiendas de ligeras a

Universitat d'Alacant

El contenido de P_2O_5 se encuentra en un r^e Universidad de Alicante
subtipos de suelo. Los contenidos de K_2O son medios para los suelos estudiados.

En la Tabla 3.4 se muestra la Capacidad de campo (CC en %), densidad aparente (DA en g/cm^3), porcentaje de arcilla, coeficiente de marchites para la planta de tabaco (CM en %) y velocidad de infiltración (VI en mm/h). Las características hidrofísicas tomadas a través de los perfiles típicos de la zona denotaron capacidades de campo entre el 14 y el 36%, coeficiente de marchites entre 5 y 25%, densidad aparente entre 1.4 y 1.8 y velocidad de infiltración entre 24 y 126 mm/h.

Tabla 3.4.- Características hidrofísicas.

Sub-tipo de suelo	Área física (ha)	% C.C.	C.M	D.A.	V.I.	% de Arcilla
VA	456,73	14,0	5,0	1,8	126	12,9
VI A	109,79	16,3	8,2	1,7	72	18,8
VIII A	53,92	36,0	26,5	1,4	45	40,6
XXVIS	255,16	18,0	11,0	1,6	20	16,0
XXVIT	25,91	21,3	14,0	1,5	24	18,0
Std. Deviation		8,73	8,28	0,16	43,55	11,05
Std. Error		3,91	3,70	0,07	19,48	4,94

La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

La estructura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo. Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables



del poder de adsorción de estos minerales.

mínima para los minerales del grupo de la ca
esmectitas y máxima para las vermiculitas.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

La capacidad de cambio está en función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

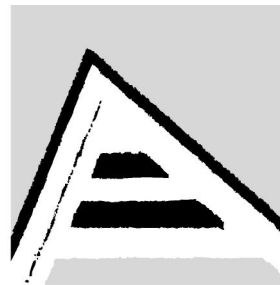
Factores limitantes

Los factores limitantes fundamentales detectados fueron la erosión, la acidez, la gravillosidad, bajo contenido de materia orgánica, mal drenaje y poca profundidad; sobresaliendo la acidez, la erosión y el bajo contenido de materia orgánica.

Según la evaluación de las áreas, existen 224.95 hectáreas de categoría I, 623.86 de categoría II y 52.70 de categoría III y no hay áreas de categoría IV dedicadas a este cultivo.

Profundidad efectiva

Es la profundidad hasta la cual pueden penetrar las raíces sin ningún impedimento e influye directamente en el desarrollo del cultivo ya que puede limitar la absorción de agua, de nutrientes y un buen anclaje. En los suelos de nuestra provincia el mejor desarrollo en el cultivo del tabaco se alcanza con más de 40 cm., con menos de 30 cm. se observan limitaciones fuertes y con menos de 20 cm. se puede producir la muerte del cultivo ante cualquier factor adverso. En esta zona se detectaron 99.89 hectáreas con profundidades inferiores a los 30 cm, 86.18 hectáreas en la CCS Francisco Blanco y 13.72 hectáreas en la Tomás León



Erosión

La erosión es el factor limitante fundamental en la agricultura, ya que de no poder controlarse se producen suelos improductivos. Durante este trabajo se pudo observar que las parcelas afectadas por los diferentes grados de erosión

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Acidez

La acidez constituye el primer factor limitante de mayor consideración ya que afecta a un total de 590.92 hectáreas y de ellas se dedican al cultivo del tabaco 284.79 hectáreas. La acidez extrema afecta el desarrollo del cultivo y la calidad de la hoja por lo que se hace necesario la realización de enmiendas calcáreas.

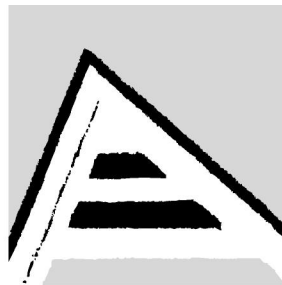
Gravillosidad

Las gravas se encuentran presentes en todas las áreas en mayor o menor cantidad según su cuantía pueden beneficiar o perjudicar el desarrollo del cultivo. Cuando se dispone de regadío se ha observado que hasta un 40% de gravas no limita el desarrollo de la plantación pero cuando se cultiva en secano más del 20% afecta el desarrollo normal del cultivo. En esta zona existen 253.20 hectáreas con mas del 20% de gravas. Las aplicaciones de materia orgánica disminuyen el efecto negativo que produce el exceso de gravillosidad.

Drenaje

El drenaje produce afectaciones relativamente pequeñas en áreas situadas cerca a los márgenes de los ríos y arroyos y durante el estudio se pudieron observar un total de 123.16 hectáreas afectadas por este factor. La medida fundamental en estas áreas es evitar las siembras muy tempranas.

Otros factores: Existen otros factores como son el contenido de nutrientes (fósforo, potasio, calcio, magnesio y materia orgánica) que también influyen en el desarrollo del cultivo pero que resultan más fácil de enmendar en la práctica. En las tablas anexas se detalla a nivel de parcelas el contenido de cada uno de estos elementos y a



continuación ofrecemos una tabla resumen ;
comportamiento de cada uno de estos factores.

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

En la Tabla 3.5 se puede observar un resumen a nivel de C.C.S. con el área afectada con cada factor limitante.

Tabla 3.5.- Área afectada por cada factor limitante (Hectáreas)

C.C.S.	pH< 5	Bajo Fósforo	Bajo Potasio	Bajo Magnesio	Baja Materia Orgánica	Afectac. por erosión	Con más del 20% de gravas	Afectac. por profund.	Afectac. por drenaje
F. Blanco	333,97	87,43	84	345,18	286,93	256,38	153,81	151,65	-
Tabaco	137,83	18,42	21,57	145,97	137,23	116,27	87,86	84,26	
T. León	138,19	113,59	125,34	120,64	203,64	85,67	-	13,71	47,89
Tabaco	71,73	26,61	45,42	70,65	65,38	67,7	-	5,52	-
T. Valdés	118,76	11,72	116,04	249,8	216,41	157,86	99,39	-	75,27
Tabaco	75,23	1,21	82,39	149,03	34,47	98,65	40,17	-	33,72
Total	590,92	212,74	325,38	715,62	706,98	499,91	253,2	165,36	123,16
Tabaco	284,79	46,24	149,38	365,65	237,08	282,62	128,03	89,78	33,72

En la Tabla 3.6 se resumen los resultados de los suelos, así como los factores limitantes que fueron objeto de estudio.

En esta tabla no se consideran suelos No aptos para el cultivo del tabaco por la existencia de un gran número de limitaciones. Existen 52,7 hectáreas con fuertes limitaciones para el cultivo y 623,86 hectáreas con algunas limitaciones. Un total de 224,95 hectáreas se consideran suelos aptos, sin limitaciones para el cultivo.

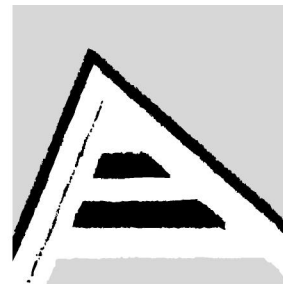


Tabla 3.6.- Evaluación de suelos.

C.C.S.	Uso	I	II			
		Suelos Aptos	Suelos Apto: con limitaciones			
Francisco Blanco	Tabaco	17,23	152,78	-	-	170,11
	Autoconsumo	7,82	123,93	-	-	131,75
	Monte y Manigua	0,62	55,9	-	-	56,52
	Otros	1	26,8	-	-	27,8
	sub.-Total:	26,77	359,41	-	-	386,18
Tomás León	Tabaco	51,85	63,06	2,51	-	117,42
	Autoconsumo	10,04	69,83	35,39	-	115,26
	Monte y Manigua	0,63	13,24	14,8	-	28,67
	Otros	-	3,1	-	-	3,1
	sub.-Total:	62,52	149,23	52,7	-	264,45
Tomás Valdés	Tabaco	103,25	46,86	-	-	150,11
	Autoconsumo	26,11	51,99	-	-	78,1
	Monte y Manigua	6,3	11,09	-	-	17,39
	Otros	-	5,28	-	-	5,28
	sub.-Total:	135,66	115,22	-	-	250,88
Total:		224,95	623,86	52,7	-	901,51

A partir de los factores anteriormente analizados se ha hecho un pronóstico de los posibles rendimientos a alcanzar, lo que evidencia las potencialidades en cuanto a rendimiento y producción.

Este pronóstico se muestra en la Tabla 3.7 y se consideran cada una de las cooperativas.

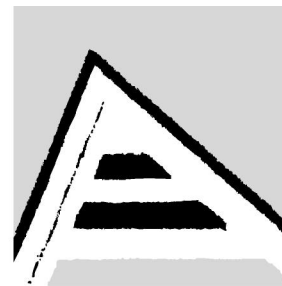


Tabla 3.7.- Producciones posibles a alcanzar.

C.C.S.	Área (ha)	Produ Rendim (Tc	
Francisco Blanco	170,11		
Tomás León	117,42	99,66	120,59
Tomás Valdés	150,11	172,44	185,34

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

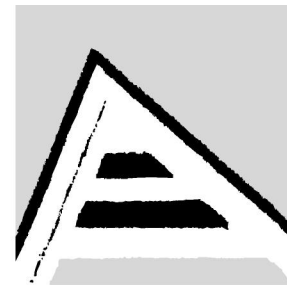
De los resultados del estudio se deriva la necesidad de tomar una serie de medidas en función de mejorar las producciones futuras. En la Tabla 3.8 se resumen las necesidades de realizar enmiendas en estas áreas.

Tabla 3.8.- Necesidades de enmiendantes y medidas sencillas de conservación.

C.C.S.	Área (ha)	Carbonato de Calcio			Magnesita		Necesidad de medidas sencillas de conservación permanentes (ha).
		Dosis (t/ha)	Toneladas	Ha	Dosis t/ha	Toneladas	
Francisco Blanco	116,29	2,04	237,23	144,57	0,27	39,71	116,27
Tomás León	59,3	1,65	98,16	66,87	0,37	24,81	117,42
Tomás Valdés	37,0	2,01	74,09	98,03	0,33	32,35	98,65

La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

La estructura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo. Cada especie mineral tiene determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.



Comportamiento de micronutrientes y metales pesados en el suelo y el tabaco de las tres cooperativas estudiadas.

Se procesaron 10 muestras de suelo y 10 muestras de tabaco por cooperativa.

Estas muestras se tomaron de forma aleatoria de toda el área en estudio.

A continuación se muestran los puntos de muestreo en la Figura 3.1.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

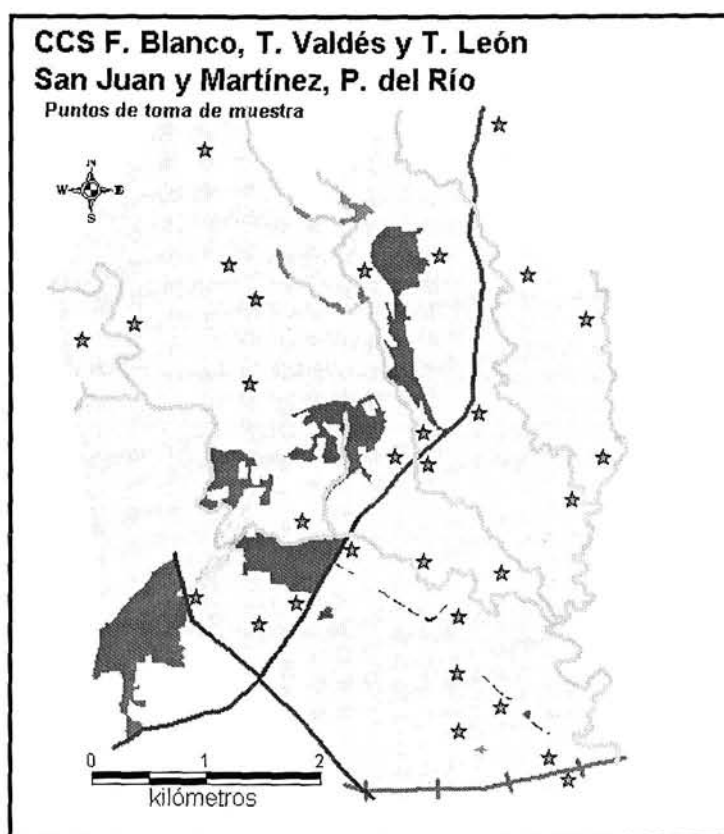


Figura 3.1 Indicación de los puntos de muestreo

En la Tabla 3.9 se aprecian los resultados obtenidos para las muestras de suelo de las tres cooperativas estudiadas. No se obtuvieron diferencias significativas en los valores de pH del suelo. Esta mejora en los valores de acidez se justifica por las enmiendas realizadas (encalado y aplicación de materia orgánica).

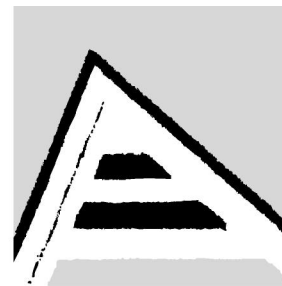


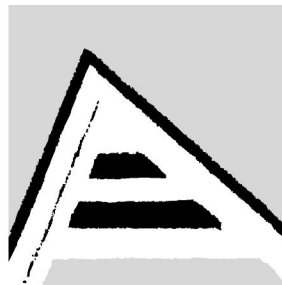
Tabla 3.9.- Análisis de suelo. Con

Fracción	Elemento	Cooperativa de Cr				
		FB				
ANÁLISIS DE SUELO CONTENIDOS TOTALES	pH	6,43a	6			
	Cond($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	234,15a	196,64a	158,40a	152,13	27,77
	K ₂ O(%)	42,8a	17,4b	42,3a	19,0	3,5
	Ca(%)	0,14a	0,15a	0,18a	0,05	0,01
	Mg(%)	0,06a	0,06a	0,07a	0,02	0,004
	P ₂ O ₅ (%)	26,8a	16,1b	17,0b	10,0	1,8
	Fe(%)	0,93a	1,10a	1,09a	0,30	0,05
	B(mg/kg)	1,05b	0,96b	1,23a	0,19	0,04
	Cu(mg/kg)	12,1ab	10,3b	14,9a	3,9	0,7
	Mn(mg/kg)	250,3b	225,1b	314,7a	74,8	13,6
	Zn(mg/kg)	43.41a	46.40a	50.10a	9,35	1,71
	Cd(mg/kg)	0,45a	0,43a	0,52a	0,19	0,04
	Pb(mg/kg)	17,26a	16,52a	17,68a	2,17	0,40

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Los valores de conductividad, por debajo de $350 \mu\text{S}/\text{cm}$ reflejan que, en todos los casos, se trata de suelos no salinos, de acuerdo con los criterios de salinidad para suelos de Doménech (1997).

No se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de Calcio y Magnesio. El contenido de Potasio es significativamente más bajo en la Cooperativa Tomás León, mientras que el contenido de Fósforo, como Fósforo total, es significativamente más alto en la Cooperativa Francisco Blanco con respecto a las dos restantes. Los contenidos de Hierro, Zinc, Cadmio y Plomo no difieren significativamente entre las tres cooperativas. En el caso de los contenidos de Boro, Cobre y Manganese, sus niveles son significativamente superiores en la cooperativa Tomás Valdés que en las dos restantes. No obstante se considera que estas diferencias no son de magnitud apreciable como para ejercer una influencia destacada en el desarrollo de la plantación de tabaco ya que la relación ínter nutriente se mantiene en un rango con pocas



variaciones.

En la Tabla 3.10 se muestra el resultado d
tomadas en los suelos estudiados anteriormente

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 3.10.- Análisis de las muestras de tabaco

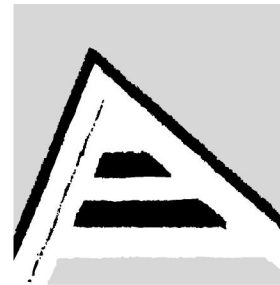
Fracción	Elemento	Cooperativa de Créditos y Servicios			Std. Desv	Std. Error
		FB	TL	TV		
TABACO	% cenizas	18,6a	17,0a	18,2a	4,0	0,7
	K(%)	5,7a	5,8a	6,4a	0,9	0,2
	Ca(%)	6,0a	6,0a	6,6a	2,6	0,5
	Mg(%)	0,99a	1,08a	1,04a	0,42	0,08
	P(%)	0,53a	0,83a	0,78a	0,50	0,09
	Fe(%)	0,29a	0,24a	0,24a	0,12	0,02
	B(mg/kg)	19,7a	19,2a	21,4a	17,7	3,2
	Cu (mg/kg)	4,68b	6,89a	4,36b	1,75	0,32
	Mn (mg/kg)	110,3ab	83,7b	135,0a	40,2	7,3
	Zn (mg/kg)	21,3a	22,9a	23,8a	5,9	1,1
	Cd (mg/kg)	0,80a	0,75a	0,88a	0,21	0,04
	Pb (mg/kg)	1,61a	1,52a	1,82a	0,41	0,08

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

Los resultados de la Tabla 3.10 muestran la similitud entre las tres áreas estudiadas, teniendo en cuenta que no se encontraron diferencias significativas en relación con los contenidos de los elementos Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo, Hierro, Boro, Zinc, Cadmio y Plomo. Los contenidos de Cobre fueron superiores en la Tomás León, en tanto que fueron inferiores los contenidos de Manganeso en esta misma cooperativa.

Los datos obtenidos de la campaña tabacalera del 2005 mostraron algunos indicadores muy relacionados con datos de campañas anteriores. La acidez del suelo fue uno de los parámetros estudiados. En la Figura 3.2 se muestra esta relación.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

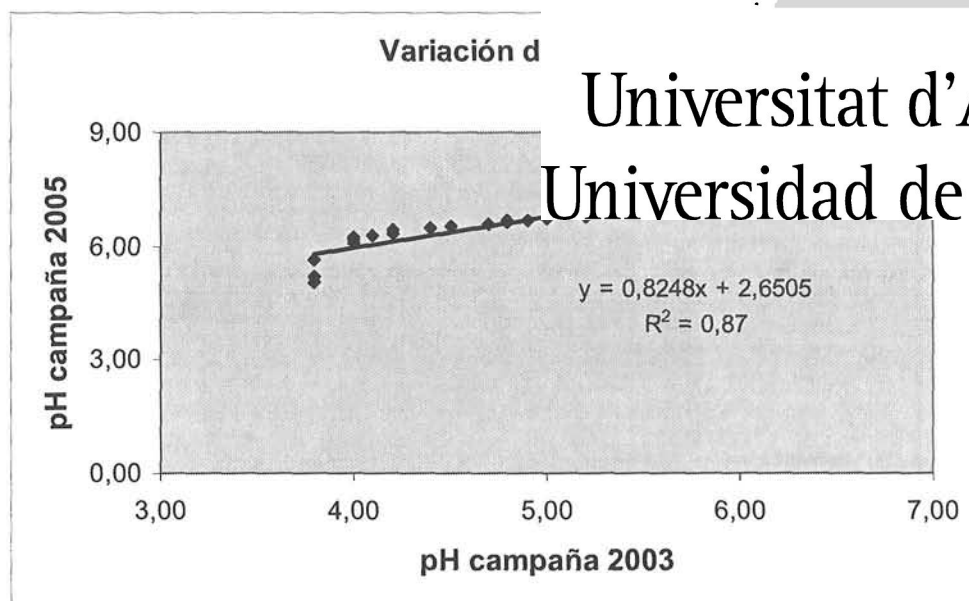
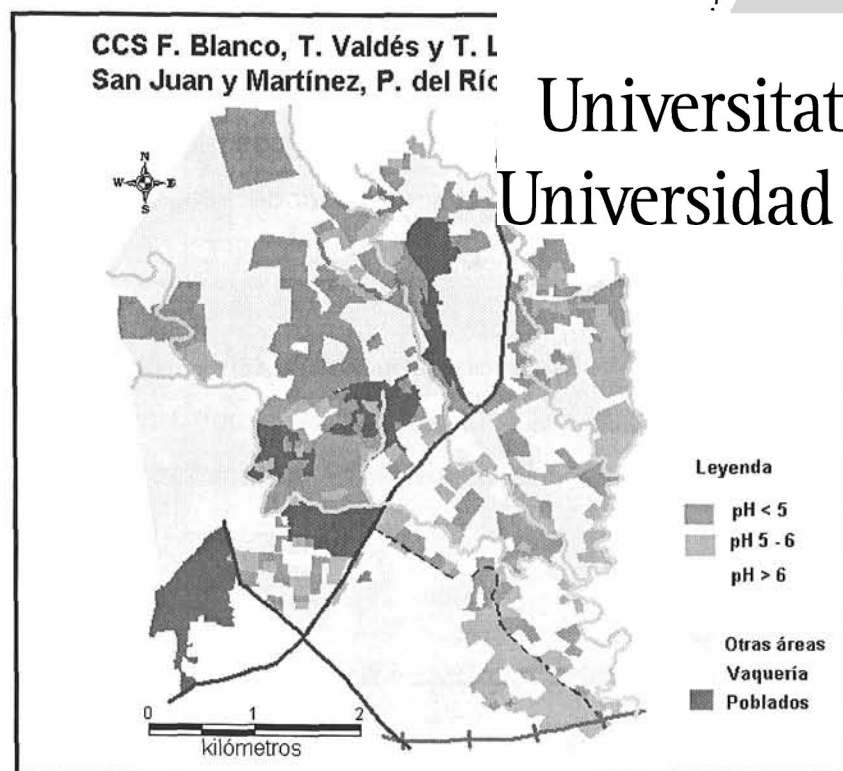
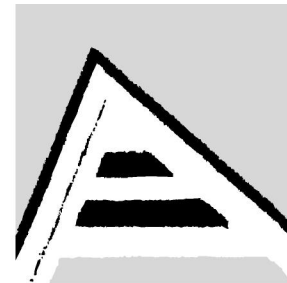


Figura 3.2 Relación entre los valores de pH entre las dos campañas analizadas

Se puede apreciar que las enmiendas realizadas al suelo, aplicación de materia orgánica y otras medidas, han conducido a un mejoramiento en estos parámetros.

Partiendo de la ecuación de regresión obtenida, se obtuvieron los valores de pH para todos los campos de las tres cooperativas estudiadas. Estos valores fueron introducidos en la base de datos del SIG y se obtuvieron los mapas temáticos de los valores de pH para toda el área estudiada. Estas variaciones se aprecian al valorar las Figuras 3.3 y 3.4. En la Figura 3.3 se puede observar un predominio de los suelos ácidos, con valores de pH inferiores a 5, mientras que en la siguiente figura se aprecia una mejor relación en los valores de este parámetro.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Figura 3.3 Variaciones del pH en los suelos, campaña 2003

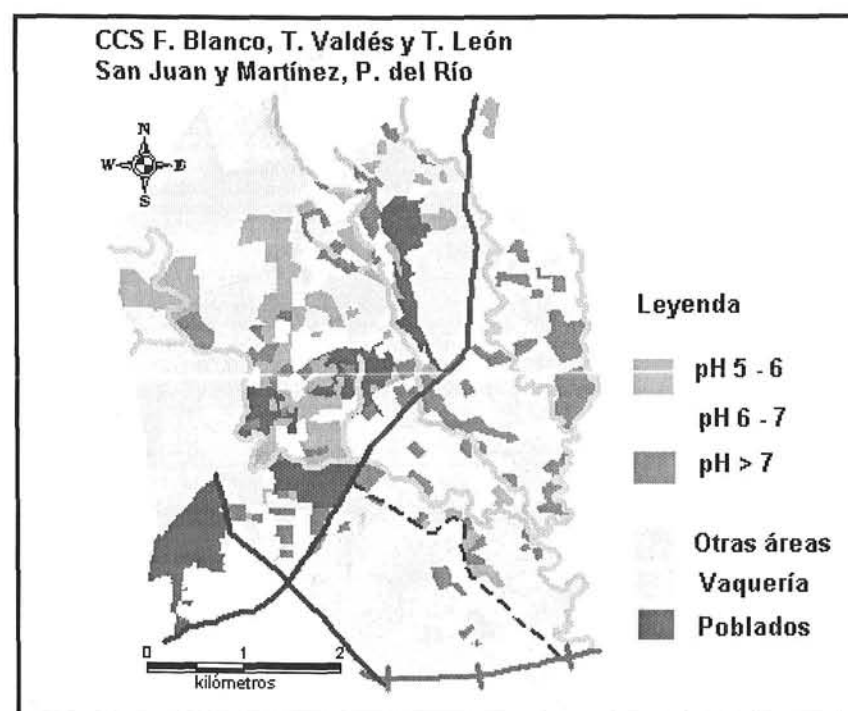
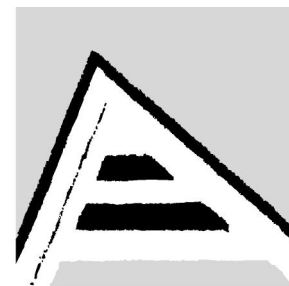


Figura 3.4 Variaciones del pH en los suelos, campaña 2005



Teniendo en cuenta los elementos aportados por los análisis de clúster realizados en el análisis de regresión entre los contenidos de Potasio y Cadmio y Plomo (en el suelo, en la disolución y en el tabaco).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los resultados obtenidos no mostraron una adecuada regresión entre el Fósforo total y los diferentes niveles de Cadmio y Plomo, dados los bajos valores de los coeficientes de regresión que se determinaron. En la Figura 3.5 se muestra este análisis entre el Fósforo y el Cadmio.

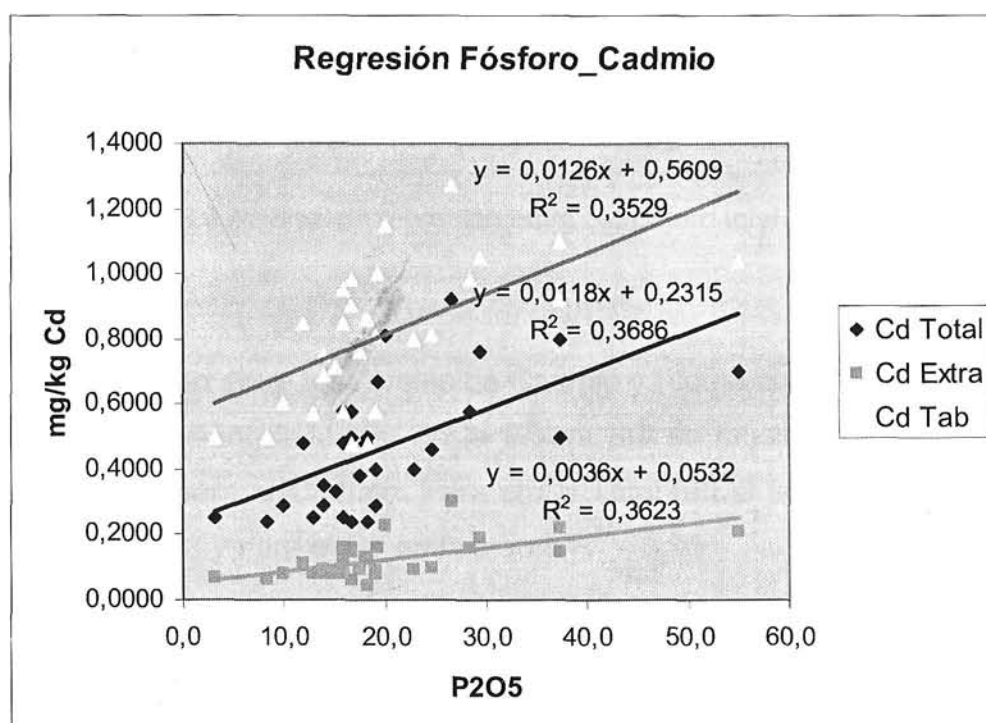
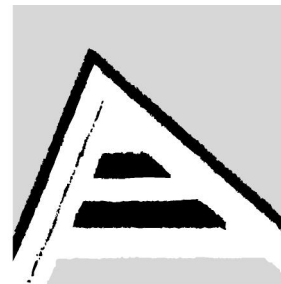


Figura 3.5 Análisis de regresión entre el Fósforo total y el Cadmio

En la Figura 3.6 se muestra el análisis de regresión entre el Fósforo total y el Plomo. También se observa que los coeficientes de regresión son muy bajos.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

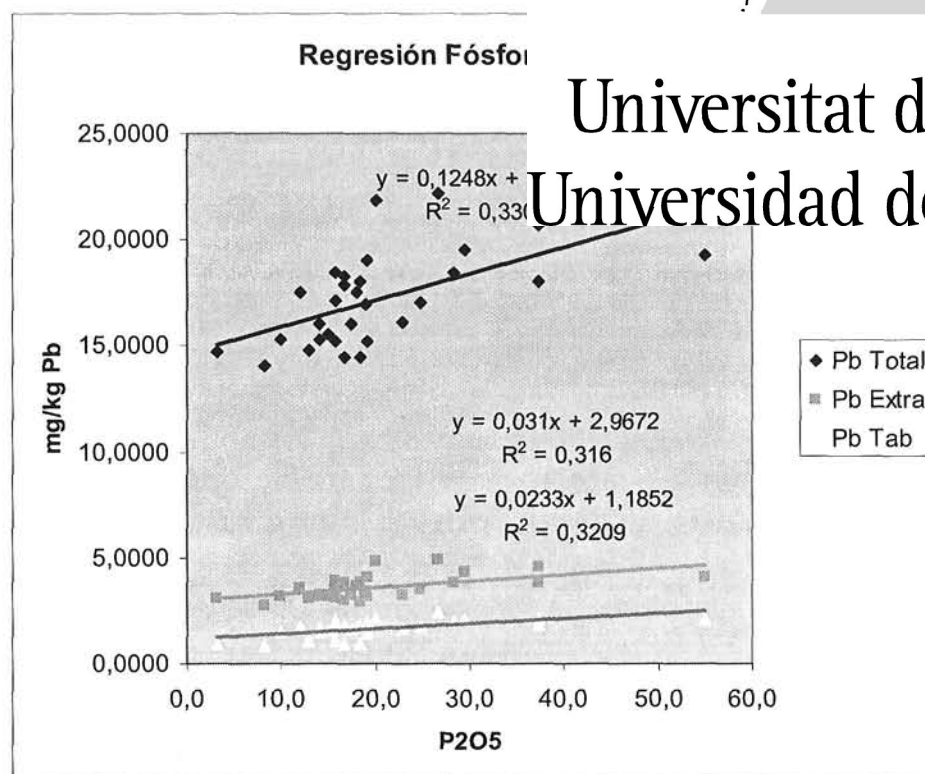
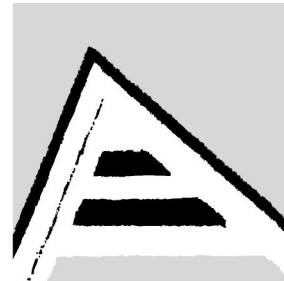


Figura 3.6 Análisis de regresión entre el Fósforo total y el Plomo

El análisis de regresión entre los niveles de Cadmio y Plomo con el Potasio total mostró coeficientes de regresión elevados. En la Figura 3.7 se muestran los coeficientes de regresión obtenidos para el Cadmio. Para el Cd Total (en el suelo), $R^2 = 0,97$, para el Cd extraíble, $R^2 = 0,93$ y para el Cd en la planta $R^2 = 0,95$.

Partiendo de los resultados anteriores, se utilizó la ecuación obtenida para el contenido de Cadmio total en el suelo ($y = 0,0101x + 0,1213$) para hacer un diagnóstico de las áreas estudiadas, utilizando como herramienta el SIG diseñado en el Capítulo anterior. Se obtuvo un mapa temático con los niveles de Cadmio, que permite hacer diagnósticos sobre las áreas de mayor peligro de incrementar los niveles de este elemento por encima de los rangos permitidos para el cultivo.



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

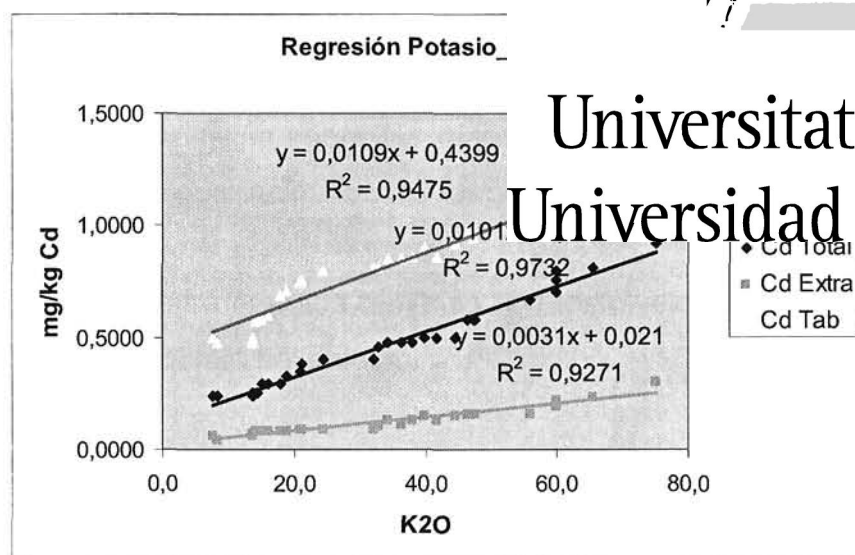


Figura 3.7 Análisis de regresión entre el Potasio total y el Cadmio

En la Figura 3.8 se muestran los coeficientes de regresión obtenidos para el Plomo. Para el Pb Total (en el suelo), $R^2 = 0,97$, para el Pb extraíble, $R^2 = 0,96$ y para el Pb en la planta $R^2 = 0,83$

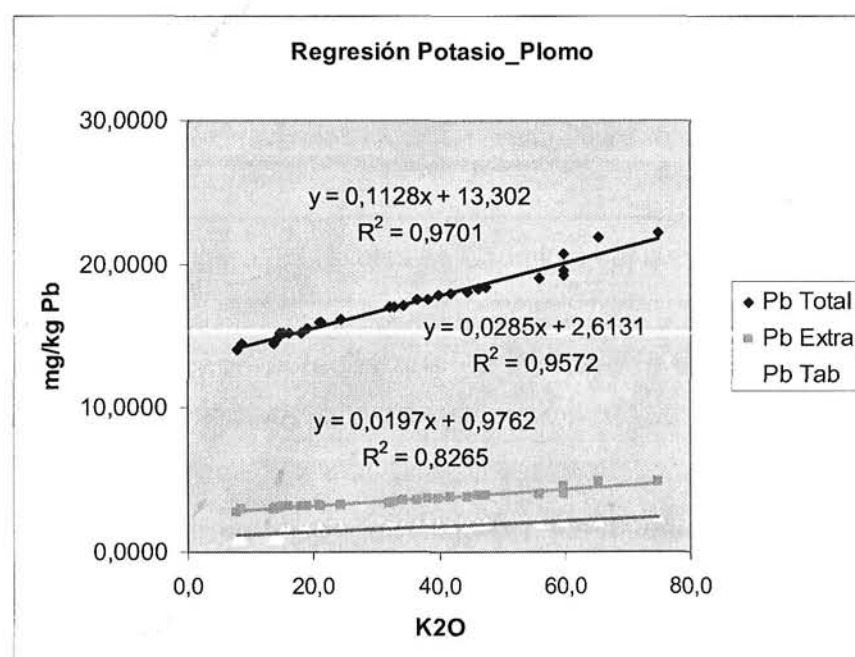
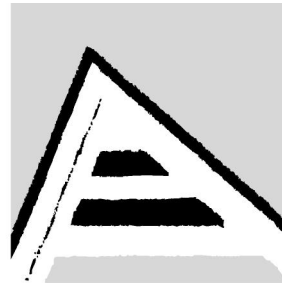


Figura 3.8 Análisis de regresión entre el Potasio total y el Plomo

De igual forma que para el Cadmio, partiendo de los resultados anteriores, se utilizó la ecuación obtenida para el contenido de Plomo total en el suelo ($y = 0,1128x + 13,302$)



para hacer un diagnóstico de las áreas estudiadas
diseñado en el Capítulo anterior. Se obtuvo un resultado
que permite hacer diagnósticos sobre las áreas
niveles de este elemento por encima de los rangos

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En la Figura 3.9 se muestra el mapa temático con los niveles de Cadmio en las áreas
de las tres cooperativas objeto del estudio.

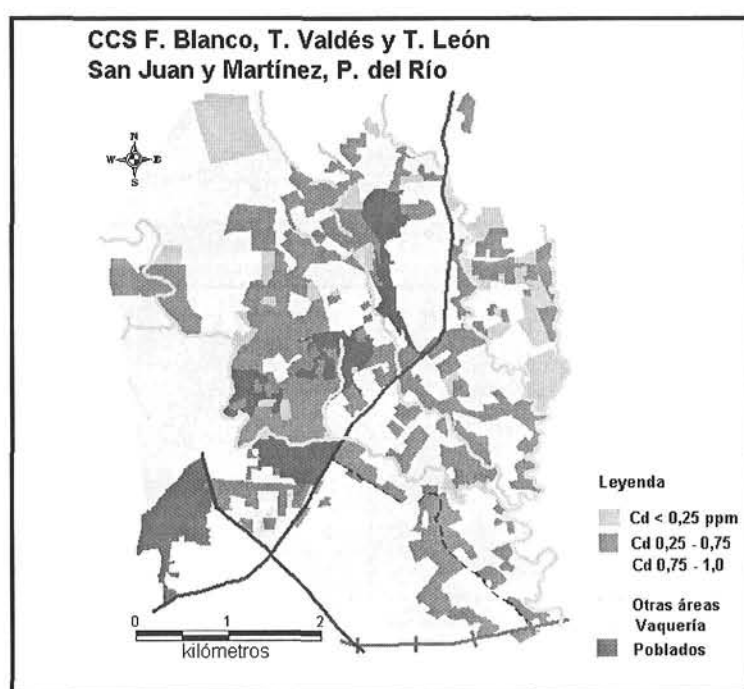
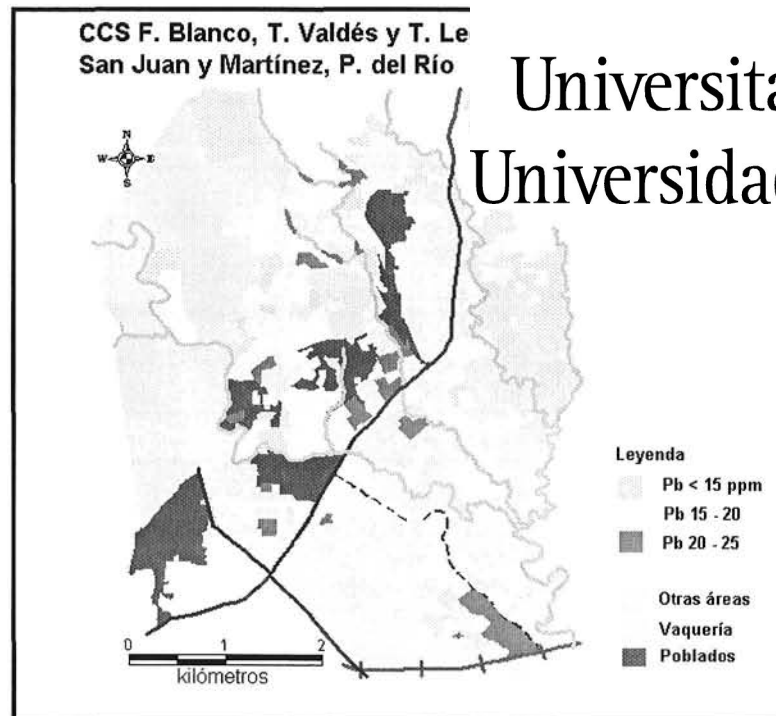
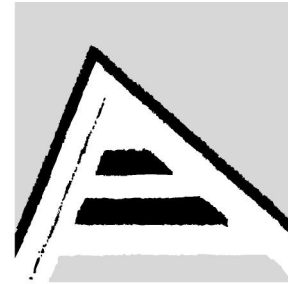


Figura 3.9 Niveles de Cadmio en el suelo

En la figura anterior se puede apreciar que en la mayoría de los casos los niveles de Cadmio se encuentran por debajo de 0,75 ppm.

En la Figura 3.10 se muestra el mapa temático con los niveles de Plomo en las áreas de las tres cooperativas objeto del estudio.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Figura 3.10 Niveles de Plomo en el suelo

En la figura anterior se puede apreciar que en la mayoría de los casos los niveles de Plomo se encuentran por debajo de 20 ppm, cifra que se considera normal y aceptable para suelos dedicados a los cultivos agrícolas.

En la Tabla 3.11 se hace un análisis comparativo de elementos totales en el suelo, biodisponibles por la planta y en la planta (en la hoja de tabaco). Para su mejor comprensión, se muestra el gráfico de barras asociado con esta tabla para los contenidos de Plomo y Cadmio.

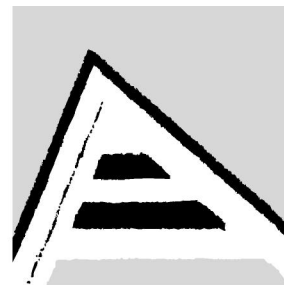


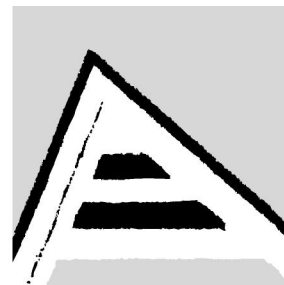
Tabla 3.11.- Contenido de micronutrientes y metales pesados en el suelo y en la planta (hoja de tabaco).

Fracción	CCS	Cu				
SUELO (mg/kg)	FB	12,06b				
	TL	10,26bc	225,1b	46,4ab	0,43b	16,52a
	TV	14,85a	314,7a	50,1a	0,52b	17,68a
EN DISOLUCIÓN LA EXTRACTIVA (mg/kg)	FB	6,24de	127,1cd	32,7d	0,13c	3,60b
	TL	8,97c	98,2ef	37,9cd	0,11c	3,43b
	TV	6,20de	153,6c	41,0bc	0,14c	3,73b
TABACO (mg/kg)	FB	4,68e	110,3ef	21,3e	0,80a	1,61c
	TL	6,89d	83,7f	22,9e	0,75a	1,52c
	TV	4,36e	135,0cd	23,8e	0,88a	1,82c
Total	Std. Desv	4,0	85,6	9,0	0,33	7,06
	Std. Error	0,4	9,0	0,9	0,03	0,74

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

En la Tabla anterior se muestran los contenidos de micronutrientes y metales pesados Cobre, Manganeso, Zinc, Cadmio y Plomo. En todos los casos, excepto en el caso del Cadmio, se observa un comportamiento similar, es decir, los contenidos totales en el suelo se diferencian sustancialmente de los contenidos biodisponibles en el suelo y estos a su vez se diferencian de los contenidos en la planta (en la hoja de tabaco). En el caso del Cadmio se observa un comportamiento diferente por cuanto se detectó un contenido mayor en la hoja, lo cual puede estar relacionado en primer lugar por la alta relación Ca/Mg en el suelo y en segundo lugar con la alta afinidad de la planta de tabaco en la absorción y acumulación de Cd en la parte aérea y especialmente en su tercio basal.

El comportamiento diferente de la variedad Criollo 98 con respecto a la asimilación de Cadmio parece estar en correspondencia con los criterios de varios autores, señalados anteriormente en este trabajo, en relación con la capacidad de algunas variedades de tabaco de asimilar cantidades relativamente altas de este metal pesado. Se corrobora la



hipótesis acerca de la capacidad acumuladora al elemento Cadmio.

Universitat d'Alacant

En la Figura 3.11 se muestra el comportamiento cooperativas, teniendo en cuenta los contenidos totales en el suelo, biodisponibles en el suelo y en la planta de tabaco. Un comportamiento similar a este elemento lo presentan los elementos Cobre, Níquel, Manganeso y Zinc, no así en el caso del Cadmio.

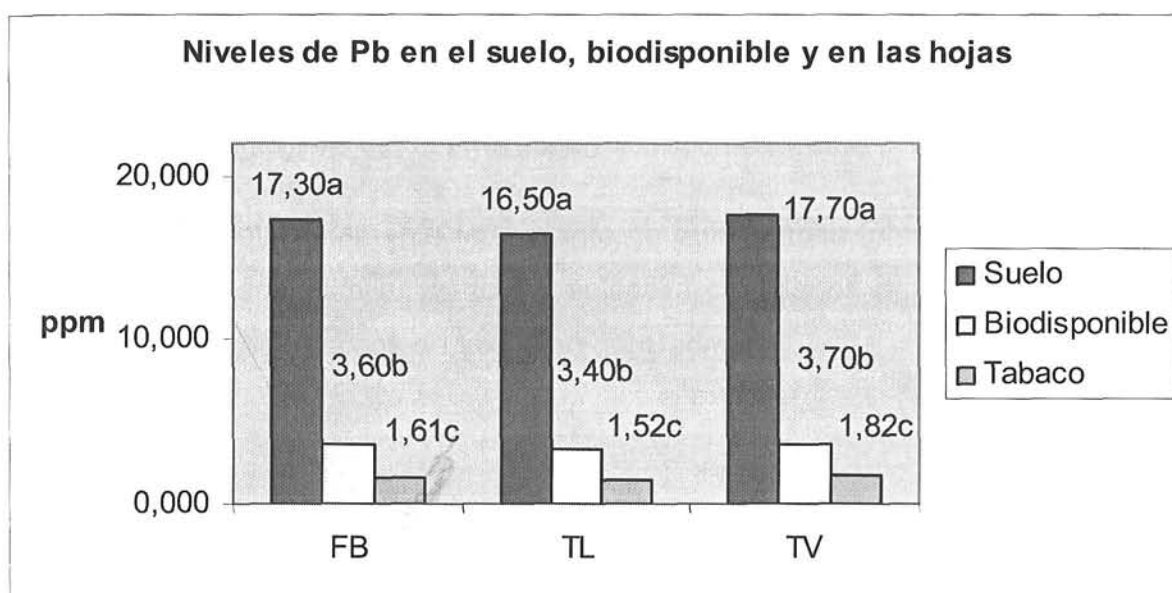


Figura 3.11.- Contenidos de Pb en el suelo, biodisponible y en la planta en las tres CCS

En la Figura 3.12 se muestra el comportamiento del elemento Cadmio en las tres cooperativas. En este gráfico se aprecia lo señalado anteriormente sobre el hecho de que los contenidos de Cd son superiores en la planta, en este caso en las hojas de la planta de tabaco.

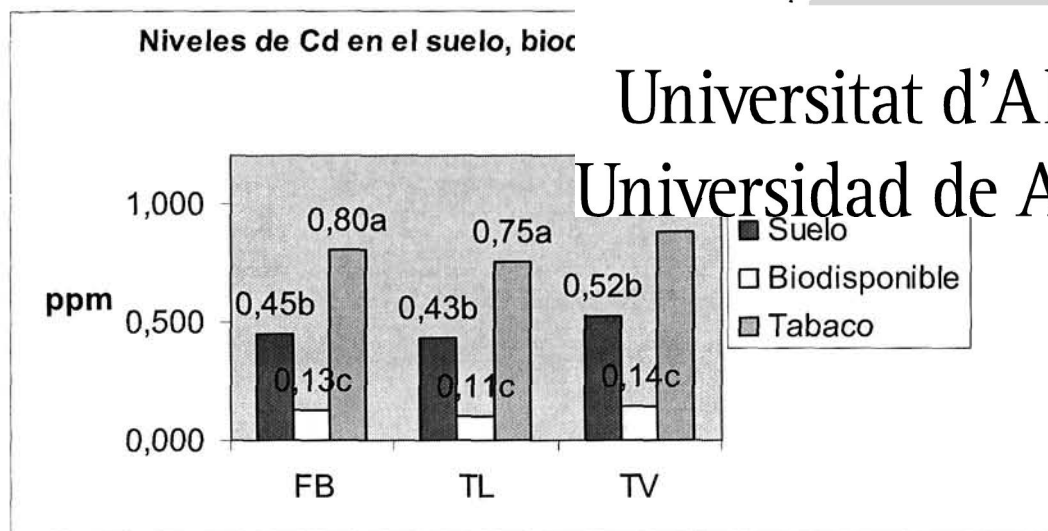
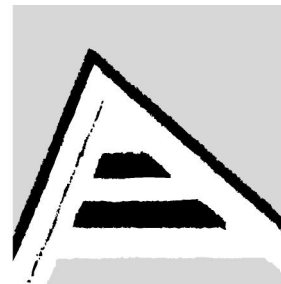
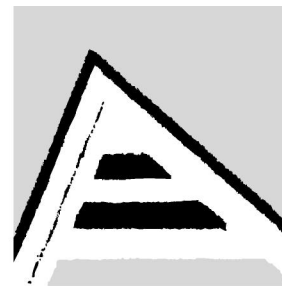


Figura 3.12.- Contenidos de Cd en el suelo, biodisponible y en la planta en las tres CCS

Este resultado resulta altamente interesante, lo que permite inferir las potencialidades de esta especie para asimilar de forma selectiva cantidades apreciables de un metal pesado con las características de toxicidad del Cadmio.



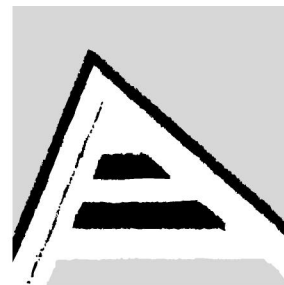
CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD "C/ COOPERATIVAS DE LA EMPRESA TABACA PINAR DEL RÍO

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Conclusiones:

1. Las enmiendas realizadas contribuyeron a normalizar los valores de pH en los campos de tabaco hasta valores adecuados para la obtención de producciones de calidad.
2. Los valores de conductividad en los suelos indican rangos aceptables en relación con la salinidad de estos campos al igual que las relaciones internutrientes.
3. Resulta significativo el comportamiento de la variedad "Criollo 98" en cuanto a la asimilación de Cadmio por la planta, lo que refuerza el criterio sobre las posibilidades de esta variedad para ser empleadas en técnicas de fitorremediación.
4. Los niveles de metales pesados en las áreas en estudio, donde se cultiva tabaco, no rebasan las normas establecidas, de manera que las producciones obtenidas pueden considerarse limpias desde el punto de vista ecológico.



CAPÍTULO 4

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD CONTAMINADO CON Cd Y Pb

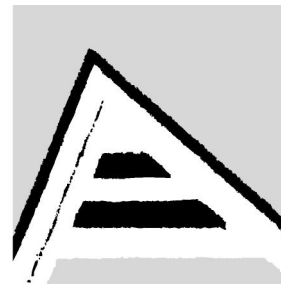
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

INTRODUCCIÓN

Dos elementos importantes se valoraron para desarrollar el experimento que se describe a continuación. Por un lado, la necesidad de evaluar las características fisiológicas y morfológicas más importantes de la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) variedad "Criollo 98" cultivada en un medio contaminado con Cadmio y Plomo, dos metales pesados caracterizados por su elevada toxicidad. De esta manera, se puede evaluar la influencia del suelo y sus características durante el crecimiento y desarrollo de la planta. Por otro lado, y teniendo en cuenta diferentes trabajos en los que se aborda la tendencia de las hojas de tabaco de acumular concentraciones relativamente elevadas de estos metales pesados, resultaba de gran utilidad disponer de una planta que permitiera su utilización para realizar técnicas de Fitorremediación. La Fitorremediación es una técnica que consiste en el empleo de plantas verdes en la remoción de contaminantes del suelo, ya sean de origen orgánico o inorgánicos (Raskin et al., 1997).

Sobre la importancia del suelo, los problemas asociados con la protección de los mismos, el uso de las técnicas de fitorremediación y la utilización de variedades de tabaco para el tratamiento de suelos con elevadas concentraciones de Cadmio y Plomo se amplía a continuación.

La importancia del suelo se ha puesto de manifiesto en los últimos años en las políticas ambientales a nivel mundial, como consecuencia de su consideración como parte integrante de los procesos que se desarrollan en los ecosistemas. El suelo constituye un puente entre la atmósfera y las aguas subterráneas, con lo que cualquier tipo de impacto que incida en él, tendrá repercusiones a corto o mediano plazo en los otros dos



medios. La industrialización, los procesos de agrícolas en ocasiones inadecuadas, han sido una importante fuente de contaminación en el medio

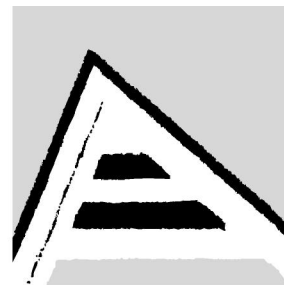
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

La protección de los suelos se ha integrado recientemente en la Unión Europea como uno de los objetivos prioritarios que influyen en las políticas medioambientales, citando como causa de degradación de los suelos la contaminación puntual como consecuencia de actividades industriales, explotaciones mineras, agricultura y vertido de residuos, proponiéndose la creación del sistema europeo de vigilancia de la conservación del suelo europeo (Lobo Bedmar, 2002).

Con una protección integrada de los suelos pueden obtenerse importantes beneficios en el aire, el agua, la lucha contra el cambio climático y la diversidad biológica.

Se puede definir la contaminación del suelo como la existencia de un agente o conjunto de agentes que provocan una perturbación en el medio o como el proceso o conjunto de procesos que disminuyen la capacidad potencial del suelo para producir bienes. La problemática de la contaminación de los suelos, debe enfocarse como un estudio multidisciplinar, abordado por multitud de especialistas, ya que el suelo debemos considerarlo por un lado como un recurso natural y por otra parte como un importante componente ambiental. El suelo funciona como un sistema abierto y complejo, autoorganizativo, estructural y polifuncional. Se comporta como un filtro a través del cual se regulan los flujos de energía y materia. Como tal filtro es susceptible de contaminarse por medio de los aportes humanos, pudiendo así deteriorarse y dejar de cumplir sus funciones.

La salud del suelo se debe a una serie de atributos físicos, químicos y biológicos, como por ejemplo, el contenido en nutrientes, la capacidad amortiguadora, la capacidad de destrucción de patógenos, la inactivación de compuestos tóxicos, etc. Sin embargo al llevar a cabo un aumento y en ocasiones un malo uso del suelo que conduce a un proceso de contaminación, es muy probable que termine en una fase de mal



funcionamiento o degradación.

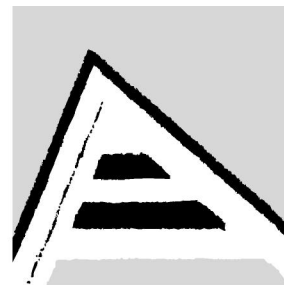
En general, los suelos poseen una amplia determinada presión, pero si esta capacidad es un problema de contaminación.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Los propios constituyentes y propiedades del suelo son capaces de aminorar la contaminación, como por ejemplo: pH, materia orgánica, minerales de la arcilla y óxidos metálicos, reacciones de oxidación-reducción, procesos de intercambio iónico, fenómenos de adsorción, desorción, complejación y reacciones de precipitación y disolución

En general, los contaminantes que se encuentran en el suelo son: metales pesados, contaminantes orgánicos y exceso de sales. En general, las actividades que pueden dar origen a la contaminación pueden ser debidas a focos puntuales o focos difusos. Los focos puntuales se derivan en su mayor parte de la industria y sus actividades asociadas. Entre los focos difusos se señala la agricultura. En este medio, las actividades se realizan directamente sobre el suelo, por lo que en este sector la contaminación se asocia fundamentalmente al uso incorrecto de fertilizantes y biocidas. Por otra parte, la agricultura intensiva está asociada a la pérdida de cobertura vegetal y materia orgánica del suelo, lo que supone la incidencia de los procesos de erosión y pérdidas de suelo, a lo que se añade el peligro de compactación causado por la maquinaria agrícola, la sobreexplotación de acuíferos debida al regadío y la acumulación de metales pesados debidos al uso de fertilizantes.

La asimilación de los metales pesados por las plantas depende de varios factores que inciden en el suelo y en la planta. Los factores principales del suelo son: El contenido del metal pesado en el suelo, las condiciones redox, la materia orgánica, y el pH. Entre los factores de la planta que afectan la asimilación de los metales pesados, el genotipo se considera el más importante.



El Cd y el Pb son elementos no esenciales, tó
sabe que solo una cantidad pequeña del Pb t
plantas y el desplazamiento del Pb de las raíz
Cd y el Zn pueden ser más rápidamente tomac
concentraciones relativamente altas de estos elementos durante las cosechas.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

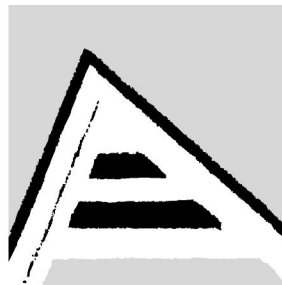
El Cadmio es absorbido por las plantas a través de las raíces y después se transporta por los tejidos del tallo y de la hoja (Salt et al., 1995) donde es finalmente secuestrado dentro de la vacuola (Vogeli-Lange y Wagner, 1990). La absorción del Cadmio por la planta inhibe la biosíntesis de la clorofila (Stobart et al., 1985) y el desarrollo del cloroplasto (Barceló et al., 1988; Baszynski et al., 1980; Ghoshroy y Nadakavukaren, 1990).

Diferentes trabajos revelan la capacidad de la planta de tabaco para acumular cantidades significativas de algunos de los metales pesados más importantes, considerando sus elevados niveles de toxicidad.

Las plantas del tabaco tienen una capacidad específica, inusualmente alta, de absorber el Cd del suelo y acumularlo en las raíces y en las hojas. Esta capacidad es significativamente diferente entre las diferentes variedades de tabaco. Por ejemplo, la *N. rustica* y la *N. rutifolia* acumulan bajas cantidades en las hojas, mientras que su capacidad de acumular en la raíz es alta, sin embargo se encontró que la variedad *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora tanto en las hojas como en la raíz (Wagner, 1986).

En la planta del tabaco, la concentración del elemento varía a lo largo del tallo. El mayor contenido se encuentra en las hojas viejas, con respecto a las hojas superiores, más jóvenes, lo que sugiere una deposición gradual con el tiempo (Semu and Singh, 1996; Angelova, 2004).

Un estudio realizado en las proximidades de una mina de Plomo y Zinc en Corea del



Sur demostró que los niveles de Cd, Cu, Pb en el tabaco y la soja que en la cebolla, la pimienta y la mayor incidencia tienen en la biodisponibilidad de los cultivos fueron examinados, incluyendo el suelo, el pH del suelo, la capacidad del intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo y la interacción entre los elementos determinados. Se concluye que las concentraciones totales del metal en suelo y el pH son los factores principales que determinan el contenido del metal en plantas (Myung, et al. 1996).

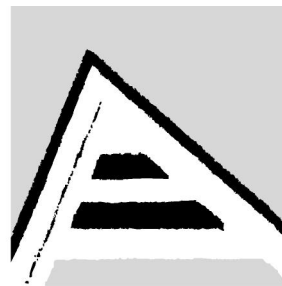
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Teniendo en cuenta que el tabaco asimila el Cadmio del suelo, se ha propuesto un procedimiento para disminuir esta tendencia, que consiste en la introducción de un gen citosólico de la cisterna sintetasa procedente del arroz (*Oryza sativa*), en las plantas de tabaco, lo que provoca un incremento en la producción de los compuestos con sulfuro que desintoxican el cadmio, y además, la eliminación activa de la toxicidad del cadmio del cuerpo de la planta (Harada, E.; et al.; 2001).

La asimilación del Cd^{2+} , aplicado en las raíces de plantas de semillero de tabaco, en forma de Cloruro de Cadmio fue estudiado por Gichner, T.; et al. (2004). El método analítico empleado fue la Espectroscopia de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (EE-ICP). El análisis de la acumulación del cadmio demuestra que las raíces acumulan el doble de este elemento, con respecto a las partes superiores de las plantas de semillero. Esto puede explicar la ausencia de la genotoxicidad de Cd^{2+} en las hojas de las plantas. Este resultado coincide con lo planteado por Rengasamy Boominathan, et al.; (2003), los que plantean que la mayor parte del Cd se acumula en la pared celular de la raíz de la planta de tabaco.

El cadmio plantea una amenaza importante para la salud ambiental y humana debido a su constante crecimiento por la actividad del hombre. Existe por lo tanto, una necesidad de establecer procedimientos rentables de la remediación para estos metales pesados.

La Fitorremediación se define como el uso de plantas verdes en la remoción de



contaminantes del ambiente (Raskin et al., 1995).

es poco costosa, estéticamente agradable y reutilizable.

Ofrece la gran ventaja de causar pocas afectaciones al

suelo, de manera que después de un proceso de limpieza

empleado directamente para la siembra de algún cultivo agrícola. Los metales pesados tóxicos y los contaminantes orgánicos son objeto de la fitorremediación.

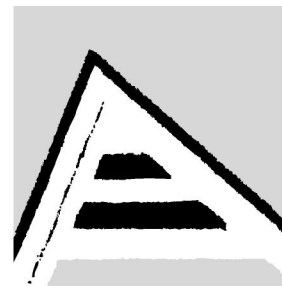
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Salt et al. (1998) estableció los siguientes subgrupos en esta tecnología:

- Fitoextracción: Extracción de los contaminantes por las plantas.
- Fitodegradación: Plantas asociadas con microorganismos para degradar contaminantes orgánicos.
- Rizofiltración: Se utilizan las raíces de las plantas para extraer los contaminantes, fundamentalmente los metales.
- Fitoestabilización: Las plantas reducen la biodisponibilidad de contaminantes en el ambiente.
- Fitovolatilización: El uso de plantas que volatilizan ciertos contaminantes.

Todas las plantas tienen un potencial para extraer metales del suelo, pero algunas plantas muestran una habilidad para extraer, acumular y tolerar altos niveles de metales pesados, los cuales pueden resultar tóxicos para otros organismos. Tales plantas son denominadas hiperacumuladoras.

Las plantas hiperacumuladoras están extendidas por todo el reino vegetal. La hiperacumulación de metales es una adaptación ecofisiológica a suelos con altos contenidos de metales (Maywald and Weigel, 1997). Este mecanismo no es bien conocido todavía, pero experimentos realizados apoyan la hipótesis de que el trabajo de hiperacumulación es un mecanismo de defensa contra plantas patógenas (Boyd et al., 1994), además de prevenir a los depredadores (Sagner et al., 1998). Sin embargo, el potencial para la aplicación de plantas hiperacumuladoras en la biorremediación es limitado por un grupo de factores.



En general estas plantas acumulan solamente
aplicables para múltiples elementos. Por ejemplo
caerulescens, la cual es dividida en dos tipos:

hiperacumuladora de Cd. La especie hiperacumuladora
habilidad para acumular este elemento en sus partes aéreas llegando a determinarse
hasta 3000 mg/kg de este metal (Schwartz et al., 2003).

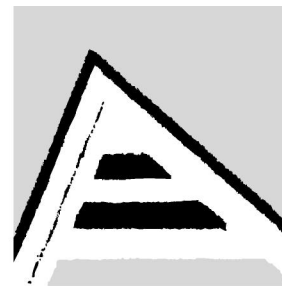
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

De acuerdo con Brown et al. (1995) una especie hiperacumuladora de Cadmio será
aquella cuyas plantas puedan acumular en sus hojas mas de 100 mg/kg de este
elemento.

Otro elemento a tener en cuenta es que la mayoría de las plantas hiperacumuladoras
crecen lentamente y su biomasa es pequeña. Robinson et al. (2000) sugiere que una
planta para que pueda ser utilizada en técnicas de biorremediación debe ser de rápido
crecimiento, bien enraizada, de fácil propagación y que acumule cantidades crecientes
del metal tóxico. Según Romkens et al. (2002) también debe tener una alta producción
de biomasa. Todos los factores analizados anteriormente tienen un óptimo
comportamiento en la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*).

El uso de técnicas de fitorremediación incluye la utilización de aditivos que inmovilizan
los metales en el suelo. Las plantas adecuadas para llevar a cabo acciones de este tipo
deben cumplir algunas características como tolerancia al metal que haya que eliminar,
que la acumulación se produzca fundamentalmente en la parte aérea de la planta, que
presenten rápido crecimiento y alta producción de biomasa en la parte aérea (Robinson
et al. 2000; Romkens et al. 2002).

La aplicación de ácido húmico en un suelo cadmio-contaminado en varias
dosificaciones, y la asimilación del cadmio por la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*
SR-1) fue determinado en lo referente a las cantidades de cadmio total y biodisponible
en el suelo. Se determinó que la biodisponibilidad teórica del cadmio, según lo
determinado por la extracción con ácido diethylenetriamino-pentaacético (DTPA), no



cambió, pero su asimilación por la planta fue en algunos casos hasta el 65% (Evangelou, et al.; 1997).

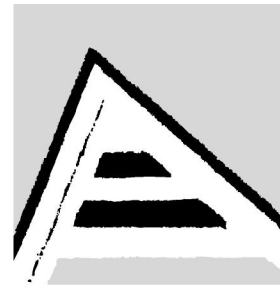
Universitat d'Alacant

No solo la planta de tabaco ha sido estudiada, la acumulación de Pb, Zn, Cu y Cd por 12 especies de plantas, entre las que se encuentran *Leersia hexandra*, *Juncus effusus* y *Equisetum ramosist*, que prosperan en sitios metal-contaminados en China fueron estudiadas. Los resultados demostraron que la acumulación del metal por las plantas fue diferente entre especie, poblaciones y tejidos. Los metales acumulados por las plantas fueron distribuidos sobre todo en los tejidos de la raíz, sugiriendo la existencia de una marcada estrategia de exclusión y tolerancia del metal. Algunas especies y poblaciones pueden acumular concentraciones relativamente altas del metal, lo que indica que el mecanismo o mecanismos internos de tolerancia del metal están presentes. Los factores que afectan la acumulación del metal por las plantas incluyen: La concentración del metal, el pH, y el estado nutritivo en el sustrato. El uso potencial de estas plantas en procesos de fitorremediación es aceptado (Deng, H.; et al. 2004).

Universidad de Alicante

Se estudió un arbusto de la familia del tabaco, *Nicotiana glauca* R. Esta planta fue seleccionada para inducirle una modificación biotecnológica, porque demostró características apropiadas para ser utilizada para la fitorremediación, tiene una distribución geográfica amplia, es de crecimiento rápido con una biomasa alta, y es repulsiva a los herbívoros. En esta planta en particular, aumentó grandemente su tolerancia a metales tales como Pb y Cd. Estos resultados indicaron que la *Nicotiana glauca* R. representa una herramienta nueva, altamente prometedora, para el uso en la fitorremediación (Gisbert, C.; et al. 2003).

El tabaco tiene una capacidad excepcional de acumular Pb, Cd, y Zn cuando se cultiva en condiciones de elevada exposición de estos metales pesados, mientras que en condiciones normales de exposición, la planta de tabaco se comporta, al parecer, de forma similar a otras especies. La mayor parte del Pb, del Cd, y del Zn fue acumulada en las partes aéreas de la planta, principalmente en las hojas. Los datos experimentales obtenidos para la presencia del Pb, del Cd, y del Zn en las diversas partes de las



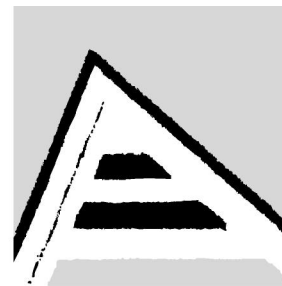
plantas de tabaco crecidas en una región incantidades procedían fundamentalmente de pesados que caían de la atmósfera y que era sin embargo, al llegar al suelo, penetran en los acumulados en sus partes aéreas (Angelova, v., et al., 2004).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La acumulación de Zn, Cd y Pb en *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) en la vecindad de una mina de Plomo en Eslovenia fue estudiada. El 80% de Pb fue acumulado en las raíces. Este es el primer informe sobre el efecto de hiperacumulación de Cd en *Thlaspi praecox* Wulf (Brassicaceae) (Katarina Vogel-Mikuš, et al.; 2005).

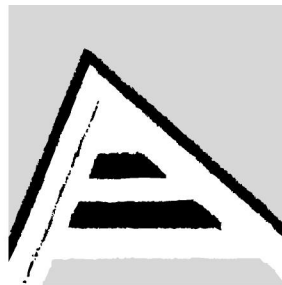
La influencia de la minoriza arbuscular (AM) en el crecimiento y la asimilación de Cd en tabaco transgénico y no transgénico fue estudiado por Janoušková, M.; et al. (2005). En este artículo, los autores se refieren a la capacidad creciente del tabaco para acumular Cadmio en las hojas, comportamiento que puede ser cambiado al introducir una variedad modificada genéticamente.

El tabaco puede acumular el cadmio y la reducción del contenido del cadmio puede reducir los peligros para la salud de los fumadores. El pH del suelo y la fertilización nitrogenada son dos de los factores más importantes que afectan la asimilación de Cd por el tabaco. Esta hipótesis fue probada en un suelo ácido en Grecia nortea por un experimento de campo de cuatro años. La variabilidad de la asimilación de Cd por el tabaco Virginia fue atribuida a la variación de la disponibilidad del Cd, según lo afectado por el pH del suelo. Al aplicar 3 T/ha de cal se producía un incremento de 0,8 unidades de pH, provocando una disminución del Cd extraído con DPTA del suelo y de las hojas de un 40% y 35%, respectivamente. La fertilización nitrogenada producía el efecto contrario, pero más débil. La aplicación de cal y la fertilización nitrogenada contribuyen considerablemente, en el tabaco de Virginia, a una gran reducción del Cd extraído del suelo después de tres años de cultivo continuado (Tsadilas, C.D.; et al.; 2005).



Teniendo en cuenta todos los elementos expues
un experimento, cuyo objetivo fundamental era
de tabaco *Nicotiana tabacum* L, variedad "Cri
Cadmio y Plomo. Esta variedad es ampliame
cultivo de sol como en tapado por su excelente calidad de la hoja y aceptables
rendimientos en la producción.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Materiales y métodos.

Condiciones experimentales. Ubicación geográfica

El experimento se realizó en áreas del Instituto de Sandalio de Noda", ubicado en el Km 8 ½ de en la provincia de Pinar del Río, a una altura de 281, 600 Km al norte y 224,100 Km al este del sistema de coordenadas planas "Cuba Norte de ICGS".

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Características del suelo.

El suelo según la clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández et al., 1975), pertenece al agrupamiento aluvial, tipo aluvial, material basal, materiales transportados arcillosos generalmente, especie medianamente profunda, textura Loam arenoso. Teniendo en cuenta la nueva versión de la clasificación genética pertenece al agrupamiento fluvisol. (Hernández, 1994).

Para obtener una mejor caracterización del suelo, se efectuó un estudio de las propiedades químicas y físico químicas, al inicio de la investigación (Tabla 4.1).

Tabla 4.1.- Características del suelo antes de las aplicaciones.

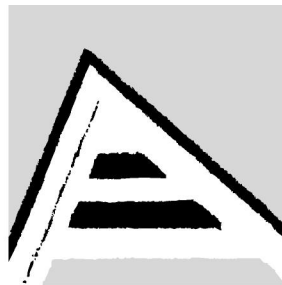
pH KCl	mg/100g de suelo.		% de Cl ⁻	% de M.O	cmoles/Kg de suelo						
	P ₂ O ₅	K ₂ O			Ca	Mg	Na	K	S*	T*	V*
5,4	16,5	18,4	0.03	1,5	3,87	0,73	0,03	0,17	4,80	5,8	82,8

S* (Suma de cationes de cambio o suma de bases)

T* (Capacidad de cambio catiónico)

V* (Porcentaje de saturación de bases)

Como se observa en la Tabla 4.1, las características del suelo son similares a otros suelos utilizados en el cultivo del tabaco. Según la F.A.O. (1983), las proporciones ideales de los cationes, respecto a T, son las siguientes: Calcio: 60-80% de T, Magnesio: 10-20% de T, Potasio: 2-6% de T y Sodio de 0-3% de T (Sánchez, 1993). En este caso se obtiene una relación Ca^{2+}/T igual a 66,70%, para el Magnesio la relación



es igual a 12,60%, para el Potasio la relación expuesto anteriormente confirma que las corresponden con las de este tipo de suelo par

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Otra muestra del área experimental fue analizada, utilizando el método analítico de Espectroscopia de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente, con el objetivo principal de caracterizar el suelo del experimento en función del contenido inicial de Cadmio y Plomo presente. Estos resultados se aprecian en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Caracterización del suelo del experimento en función del contenido de Cadmio y Plomo y otros nutrientes esenciales.

Elemto	%					mg/kg suelo						
	K	Ca	Mg	P	Fe	B	Cu	Ni	Mn	Zn	Cd	Pb
Media	0,14	0,175	0,06	0,03	0,84	1,25	12,75	4,13	223,8	23,5	0,38	17,38
Error std	0,028	0,005	0,009	0,003	0,04	-	0,25	0,37	6,2	1,5	0,12	1,87
Desv std	0,04	0,007	0,013	0,004	0,057	-	0,35	0,53	8,8	2,12	0,18	2,65

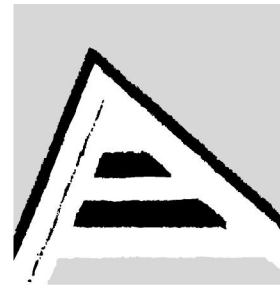
Al comparar los resultados obtenidos para los elementos K, Ca, Mg y P con los obtenidos en la tabla anterior, y haciendo las transformaciones de unidades correspondientes, se encuentra que los resultados de la Tabla 4.1 son ligeramente inferiores, lo que es debido a que lo resultados del análisis de emisión se corresponde con contenidos totales del elemento en la muestra.

Características del área utilizada.

El área experimental ocupó 114 m², en la cual se plantó la variedad criollo 98 con un marco de plantación de 0.76x0.25 m, esta área estaba dividida en 12 parcelas de 2.50 m de largo por 3.8 m de ancho (9,50 m²), cada parcela contaba con 5 surcos y 10 plantas, para un total de 50 plantas por parcela. De cada parcela se muestrearon 10 plantas.

Plantación, riego y fertilización.

La plantación se realizó el día 23 de enero de 2003. El riego y la fertilización se



realizaron de acuerdo con el instructivo técnico

Los tratamientos se codificaron utilizando la sig

T1 Para el testigo en cada una de las parcelas

T2 Para tratamientos con cadmio en cada una de las parcelas estudiadas (3), A, B, C.

T3 Para tratamientos con plomo en cada una de las parcelas estudiadas (3), A, B, C.

T4 Para tratamientos con cadmio y plomo en cada una de las parcelas (3), A, B, C.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Para cada uno de los tratamientos se utilizaron dosis de 0.50 Kg./ha del elemento activo, dividido en 2 aplicaciones, en cada uno de los momentos de fertilización seguido del riego. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra y la segunda aplicación 21 días después de la primera aplicación.

Los portadores utilizados fueron el $\text{PbAc}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y CdSO_4 . Se le adicionó EDTA, formando así portadores en forma de quelato”.

Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 réplicas.

Características físicas del suelo utilizado.

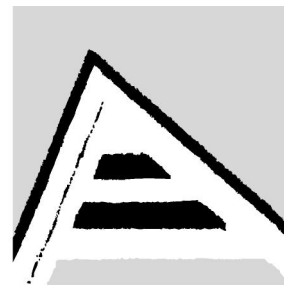
La metodología utilizada para la caracterización física de los suelos fue la planteada por Alonso y Cabrera (1987).

Densidad real. (g/cm^3).

Para su determinación se utilizó el método del picnómetro con agua para suelo, que es la que da los mejores resultados (Terés et al., 1993).

Densidad aparente. (g/cm^3).

El método más utilizado para determinar la densidad aparente compactada (d_a) es el método del cilindro cortante, calculándose a través de la expresión.



$$da = \frac{m}{v}$$

Donde:

m = masa del suelo seco

v = Volumen del cilindro en cm^3 .

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Porosidad (%).

Para el cálculo de la porosidad se utilizó la siguiente fórmula.

$$P = 100 \left(1 - \frac{da}{dr} \right) = \% \quad (2)$$

Donde :

da = densidad aparente (cm^3).

dr = densidad real (cm^3).

Metodología utilizada para la caracterización química del suelo.

Los análisis químicos y físico-químicos del suelo, fueron realizados en el Laboratorio de suelos del MINAGRI y en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Pinar del Río.

Las técnicas utilizadas fueron:

pH: Potenciometría.

Materia orgánica (MO): Incineración.

Humedad higroscópica (Hy): (Gravimetría)

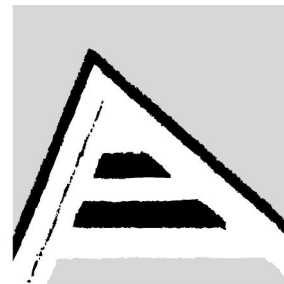
Ca^{2+} y Mg^{2+} : Complexometría.

K^+ y Na^+ : Fotometría de llama.

P_2O_5 : Colorimetría.

Nitrógeno: Destilación con Kjeldahl

Todos estos análisis se realizaron aplicando las metodologías establecidas por MINAGRI (1994) y Ansorena (1994).



Estudio de las características morfológicas

Determinación de los parámetros morfológicos

A los 26 días de plantadas las posturas se (18/02/03) de altura a 10 plantas de cada t realizándose cada 7 días y hasta los 70 días (3/04/03). Esta se midió desde la superficie del suelo hasta el extremo de la yema apical.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Diámetro del cuello de la raíz (DCR).

Para medir el diámetro se utilizó un pie de Rey con un error de 0.05 mm.

Masa seca aérea (MSA), Masa seca radical (MSR), Masa seca total (MST).

La masa seca aérea es la masa del tallo más la masa seca de las hojas. La masa seca total comprende la masa seca aérea más la masa seca de la raíz. Las masas se obtuvieron en el laboratorio de conservación de suelo con una balanza analítica de error de 0.1 mg. Para el secado de las muestras se utilizó la estufa, a 75°C, inicialmente por una hora y después a 45°C por 48 horas hasta peso constante.

Área foliar. (cm²).

La determinación del área foliar se realizó utilizando el método gravimétrico y aplicando la siguiente fórmula:

$$Af = \frac{1dm^2 * Pf}{Pp} \quad (3)$$

Donde:

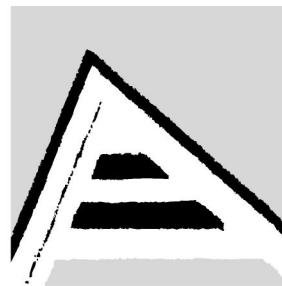
Pf = Peso de la forma de la hoja (g).

Pp = peso del decímetro cuadrado (g).

Índices morfológicos.

Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR).

Es la producción de materia seca concentrada en las raíces respecto al total de la planta, se determina:



$$PA/PR = \left(\frac{\text{masa_seca_del_tallo} + \text{masa_seca_de_la_raíz}}{\text{masa_seca_de_la_raíz}} \right)$$

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Estado nutritivo de las plantas.

Análisis foliar.

La toma de la muestra foliar se realizó seleccionando todas las hojas de 15 plantas. Esas hojas fueron lavadas y secadas en la estufa a una temperatura de 75°C, posteriormente fueron maceradas y pasadas por un tamiz de 0.5 mm, envasadas, y se llevaron a los laboratorios del MINAGRI. Se les determinó macronutrientes primarios y secundarios: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio. Se realizaron análisis de macro y micronutrientes en los laboratorios de La Universidad de Alicante en España y en la Empresa Central de Laboratorios "JOSÉ ISAAC DEL CORRAL" en Ciudad de la Habana.

Índices del crecimiento.

Tasa de asimilación neta (TAN) ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$).

La (TAN) es la producción de la materia seca determinada por el balance entre la fotosíntesis y la respiración, que cuantifica la biomasa producida por la superficie fotosintetizadora por unidad de tiempo, utilizando la siguiente ecuación:

$$TAN = \frac{2(P_2 - P_1)}{(A_1 + A_2)(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

Donde:

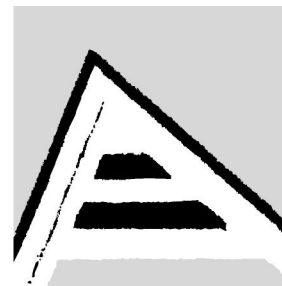
P_1 y P_2 = Peso seco medio.

A_1 y A_2 = Área foliar media.

t_1 y t_2 = Fechas en que se realizaron las determinaciones de área foliar.

Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico



SPSS para Windows Versión 10 de diciembre

Análisis de Componentes Principales con el ob
metales y los parámetros edáficos, confirma

resultados encontrados en el estudio de

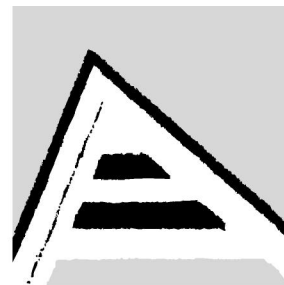
Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

Componentes Principales el objetivo final es reducir la dimensionalidad de la tabla de
datos concentrando la información en el menor número de variables o factores que se
obtienen como combinación lineal de las variables iniciales y se retienen aquellas que
explican una mayor varianza.

Se ha utilizado la correlación de Pearson y Spearman, teniendo en cuenta las
correlaciones significativas (con significación superior al 95%). Se han correlacionado
los contenidos de metales pesados entre sí y con los parámetros edáficos para todos
los suelos estudiados.

Se realizaron diferentes análisis para el estudio del comportamiento del cultivo en
diferentes tratamientos con cadmio, plomo y cadmio-plomo. Se realizaron las pruebas
no paramétricas de Kruskal Wallis y la comparación utilizando el método de Student-
Newman-Keuls (SNK) para todas las variables, las cuales no cumplieron con una
distribución normal. También se realizaron pruebas de comparación por Duncan.



Resultados y discusión.

Análisis de la caracterización química del : Universitat d'Alacant los tratamientos. Universidad de Alicante

Una vez concluido la recolección del tabaco, se procedió a tomar una muestra de suelo de cada tratamiento con vistas a establecer las diferencias y similitudes en función de la aplicación de cantidades controladas de Cd y Pb. Se reportan las medias de las tres réplicas. Estos resultados pueden apreciarse en la Tabla 4.3

Tabla No 4.3.- Caracterización química del suelo (post-cosecha) de las parcelas de cada uno de los tratamientos.

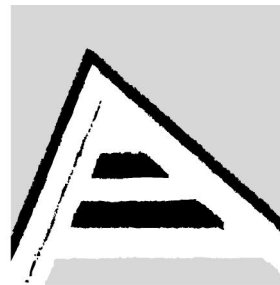
Trata- mientos	pH KCl	mg/100g de suelo.		%	cmol/Kg de suelo						
		P ₂ O ₅	K ₂ O		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	V
Testigo	4.6	17.5	20.0	1.5	3.87	0.73	0.03	0.17	4.80	5.8	82.7
Cd	4.8	17.0	18.0	1.4	3.15	0.73	0.03	0.16	4.07	4.5	90.4
Pb	4.7	16.5	17.6	1.3	2.82	0.72	0.02	0.16	3.72	4.3	86.5
Cd+Pb	4.8	17.3	17.3	1.3	2.36	0.71	0.03	0.16	3.26	4.1	79.5
E. Std	0.05	0.22	0.61	0.05	0.32	0.005	0.003	0.003	0.33	0.38	2.36
D. Std	0.10	0.44	1.22	0.10	0.64	0.01	0.005	0.005	0.65	0.77	4.72

S* (Suma de cationes de cambio o suma de bases)

T* (Capacidad de cambio catiónico)

V* (Porcentaje de saturación de bases)

En la Tabla 4.3 se observa una disminución del pH, con respecto a los valores iniciales que se mostraron en la Tabla 4.1, lo que puede estar dado por el lavado de las bases (Cairo, 1994), propiciado por los riegos realizados, las precipitaciones caídas y a las características del suelo (Loam arenoso), con valores altos de porosidad, aspectos que favorecen el proceso de lavado de las bases.



El contenido de P_2O_5 y K_2O en el suelo (completa) realizada al cultivo durante su de permanece prácticamente constante durante

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Análisis de la caracterización física del suelo de las parcelas de cada uno de los tratamientos, una vez cosechado el tabaco.

Como se observa en la Tabla 4.4, el mayor porcentaje de partículas está en un rango de 2 a 0,02 mm en todos los tratamientos. El tratamiento testigo, con un 81% de partículas en este rango supera ligeramente a los demás, no existiendo marcadas diferencias entre los tratamientos. Esto se corresponde con lo planteado por MINAGRI (1984) para los suelos Ferralíticos Cuarcíticos Amarillos, en los que el rango de partículas predominante se encuentra entre 2 y 0,02 mm. Los valores de densidad real (d_r), densidad aparente (d_a), porosidad y tamaño de las partículas no variaron significativamente con los tratamientos realizados (Tabla 4.4).

Tabla 4.4.- Caracterización física del suelo de las parcelas de cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	g/cm ³		Porosidad (%)	Tamaño de las partículas (mm).		
	d.a	d.r		Arena 2-0,02 mm	Limo 0,02-0,002 mm	Arcilla < 0,002 mm
Testigo	1.1	2.5	60	81	7.6	11.4
Cd	1.1	2.6	60	79	5.6	15.4
Pb	1.1	2.7	60	77	7.6	15.4
Cd+Pb	1.0	2.4	58	77	7.6	15.4



Análisis de las características morfológicas:

Altura de las plantas.

El análisis estadístico realizado no arrojó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos con respecto a la variable altura. El valor de F calculado alcanza un valor de 10,66, lo que contribuye a que, a pesar de existir ciertas diferencias en la altura, con respecto a los tratamientos, estas no sean significativas (Tabla 4.5). Estos resultados coinciden con trabajos de varios autores, donde se plantea que la planta de tabaco puede desarrollarse en un suelo contaminado por Cadmio y Plomo, y no mostrar síntomas visuales de toxicidad.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 4.5.- Indicadores morfológicos y fisiológicos de la planta.

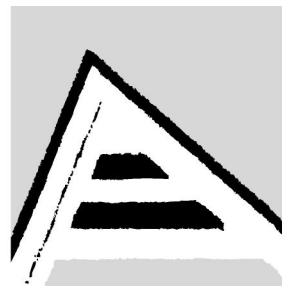
Tratamiento	Testigo	Cd	Pb	Cd+Pb	Error std	Desv. std
Altura (cm)	93.43a	93.60a	87.97a	89.97a	0.97	10.66
DCR (mm)	19.42a	19.65a	20.03a	19.00a	0.16	1.76
Área foliar (cm ²)	239.2a	178.8b	155.3c	155.1c	4.19	45.93
Masa seca de las hojas	42.7a	43.2a	26.5c	33.0b	0.77	8.43
Masa seca del tallo	28.9b	34.1a	22.1c	21.7c	0.50	5.52
Masa seca de la raíz	16.8b	26.1a	9.9d	12.5c	0.59	6.43

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

Diámetro del cuello de la raíz

El análisis estadístico realizado al comportamiento del diámetro en el cuello de la raíz (DCR), tal y como se aprecia en la Tabla 4.5, no arrojó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, obteniéndose un comportamiento similar a la variable altura.



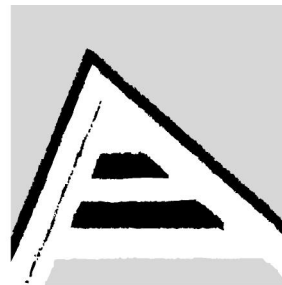
Área Foliar

En la Tabla 4.5 se muestra el comportamiento de diferentes tratamientos. Se observan diferencias

mayor reducción se presenta en los tratamientos con Cadmio. Se aprecia una influencia muy marcada del elemento Plomo en el desarrollo del área foliar, influencia que es muy superior a la que produce la presencia del elemento Cadmio. Se conoce que el Plomo puede provocar cierta inhibición del desarrollo del área foliar debido a que puede producir toxicidad a nivel celular, y esta toxicidad contribuye a la inhibición de la actividad enzimática (Williams, 2000). Este autor se refiere al efecto tóxico del Plomo asociado a la disminución del área foliar y afectaciones en el sistema radical de la planta. Aunque se conoce de la elevada toxicidad del Cadmio, es conocido también la afinidad de la planta de tabaco por este elemento, lo que pudiera estar indicando que se requiere de niveles mas elevados de este elemento para producir afectaciones más severas en los diferentes parámetros de la planta.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

La disminución del área foliar puede estar relacionada con el efecto de los metales pesados tales como el Cadmio y el Plomo, en la actividad de las auxina-oxidasas, lo que provoca un menor crecimiento de las células y por tanto una disminución del área foliar. (Chowdhury, B.A.; Chandra, R. K; 1987). En altas concentraciones, estos metales pueden llegar a ser extremadamente tóxicos, causando síntomas tales como clorosis y necrosis, decoloración de la hoja y la inhibición del crecimiento de la raíz (Marschner, 1995; VanAssche, 1990). En el nivel celular, la toxicidad puede resultar de unir a los grupos sulfidrilos en las proteínas de tal modo que inhiben actividad enzimática o la función de la proteína, o produciendo un deficiencia de otros iones esenciales (VanAssche, 1990; Meharg, 1994). Otras posibilidades incluyen la interrupción de los procesos y del daño oxidativo del transporte de la célula. Así los sistemas disponibles para la adquisición de los iones del metal por las raíces, el transporte y la distribución alrededor de la planta, y la regulación de sus concentraciones citosólicas son claramente integrales al crecimiento vegetal y al desarrollo normal (Day, et al.; 2003).



Masa seca de la hoja

Como se puede observar en la Tabla 4.5, en la se observan diferencias significativas entre el combinado, lo que se corresponde con la dismi

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Resulta significativo el hecho de que no existan diferencias significativas entre la masa seca del testigo y la masa seca del tratamiento con Cadmio. Como se apreciará mas adelante, el Cadmio se acumula fundamentalmente en la hoja, específicamente en el primer corte o libra de pie. Esto parece indicar que este elemento participa o inhibe algunas reacciones fisiológicas de la planta. Esto puede estar dado por las características del Cadmio, similares al Zinc y a otros microelementos que sí tienen una probada participación en diferentes procesos fisiológicos que ocurren en la planta.

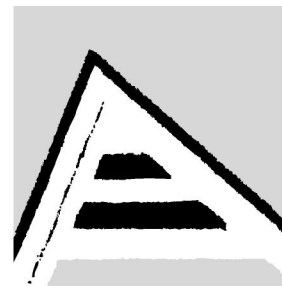
Se debe observar que este comportamiento se repite para la masa seca del tallo y la masa seca de la raíz, lo que indica que el Cadmio parece favorecer la producción de masa seca, aunque de forma indirecta, impidiendo la presencia de hongos y bacterias que afectan a la planta (Soumitra et al., 1998).

Masa seca del tallo

Con respecto a la masa seca del tallo se aprecia que existen diferencias significativas entre el Testigo y el tratamiento con Cadmio. Se observa un incremento apreciable de la masa seca del tallo en el tratamiento con Cadmio, con respecto al testigo, comportamiento que se repite en el caso de la masa seca de la raíz. No se aprecian diferencias significativas entre si, en los tratamientos con Plomo y combinados, pero estos difieren significativamente con el testigo y con el tratamiento con Cadmio, lo que nuevamente parece indicar la influencia del Cadmio en la producción de masa seca.

Masa seca de la raíz

En el caso de la masa seca de la raíz, se produce un comportamiento similar al comportamiento de la masa seca del tallo. Existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, resaltando el hecho de que en el tratamiento con Cadmio es donde se



obtiene la producción de mayor cantidad de ma
tratamientos con Plomo es donde se aprecia un
efecto negativo del Plomo en esta producción de
el Cadmio favorece una mayor producción de masa

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Algunos autores (Varvara, et al. 2001) plantean que las plantas acumulan el Plomo en las raíces y en los tallos, inhibiendo por tanto el desarrollo y crecimiento de la parte radical, lo que coincide con lo planteado por Williams, et.al. (2000), en el sentido de que éste elemento, por su toxicidad, causa inhibición del crecimiento de la raíz. Esto se corresponde con otros resultados que mas adelante se exponen.

Evaluación de los índices morfológicos

Relación parte aérea / parte radical (PA/PR).

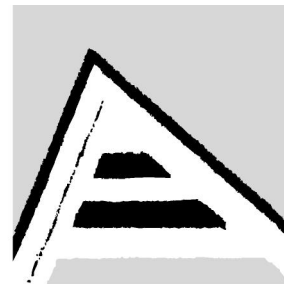
Como se observa en la Tabla 4.6, existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, lo cual esta relacionado con los resultados obtenidos en cuanto a la producción de masa seca de la parte aérea de la planta y la parte radical.

Tabla 4.6.- Índices morfológicos

Tratamiento	Testigo	Cd	Pb	Cd+Pb	Error std	Desv. std
PA/PR	4.31b	2.97c	5.77a	3.95b	0.12	1.27
TAN (g cm ⁻² día ⁻¹)	0.005c	0.007a	0.005c	0.006b	0.0001	0.001

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

En el tratamiento con Plomo se observaron los mayores valores de la relación PA/PR, debido al poco desarrollo del sistema radical provocado por este tratamiento (Varvara, et al, 2001), lo que se corresponde con la influencia inhibitoria del Pb en la fotosíntesis, en la acción enzimática y en el crecimiento.



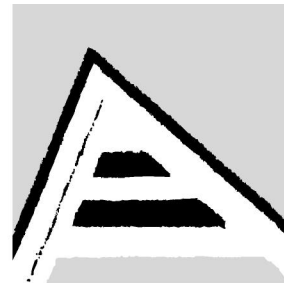
Tasa de Asimilación neta

Como se puede observar en la Tabla 4.6, el resultado de los valores obtenidos para la Tasa de Asimilación neta (TAN) no presenta diferencias significativas entre los tratamientos.

Se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos Testigo y Tratamiento con Plomo. Teniendo en cuenta que la TAN es una relación entre la masa seca media y el área foliar media, es de esperar que el tratamiento con Cadmio presente el mayor valor en esta variable, lo que se corresponde con lo explicado anteriormente sobre la variación del área foliar y la masa seca.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Al tratamiento combinado le corresponde el segundo lugar en el valor de esta variable y a continuación los tratamientos Testigo y Tratamiento con Plomo no difieren significativamente en los valores de la TAN. Esto puede estar dado a que en la misma proporción en que disminuye la parte aérea, también disminuye la parte radical, aunque se aprecia una disminución (no significativa dado el alto valor de la desviación estándar) en el tratamiento con Plomo. Por otra parte este resultado también puede estar dado, porque el efecto del Cadmio sobre la acumulación de materia seca está por encima de lo que inhibe el Plomo la actividad fotosintética. Aunque no está claro en el caso del Cadmio el papel que juega este elemento en la acumulación de materia seca o sea que está por esclarecer si su influencia es sobre el estímulo de la actividad fotosintética o sobre la inhibición de la actividad respiratoria.



Estudio de la acumulación de Cadmio y Plomo

En la Tabla 4.7 se observa la acumulación de C

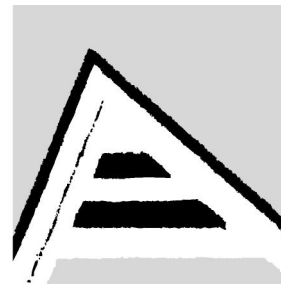
Universitat d'Alacant

Tabla 4.7.- Distribución y acumulación del C

Universidad de Alicante

Planta	Tratamiento	Cd (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)
RAIZ	Testigo	1,25g	3,15fg
	Cadmio	36,85c	2,35g
	Plomo	1,50g	18,45c
	Cadmio+Plomo	54,25a	28,35a
TALLO	Testigo	0,57g	2,25g
	Cadmio	5,70fg	2,40g
	Plomo	1,40g	13,35e
	Cadmio+Plomo	14,15e	16,60cd
LIBRE PIE	Testigo	3,25g	5,25f
	Cadmio	28,0d	5,00f
	Plomo	2,0g	14,5de
	Cadmio+Plomo	48,0b	26,0b
UNO Y MEDIO	Testigo	1,75g	2,50g
	Cadmio	6,5fg	2,50g
	Plomo	2,0g	14,25e
	Cadmio+Plomo	9,50ef	15,5de
CENTRO	Testigo	1,25g	2,50g
	Cadmio	4,75fg	2,50g
	Plomo	1,75g	2,50g
	Cadmio+Plomo	3,50g	2,50g
CORONA	Testigo	1,50g	2,50g
	Cadmio	2,75g	2,50g
	Plomo	1,50g	2,50g
	Cadmio+Plomo	3,25g	2,50g
Error Std		2,2	1,2
Desv. Std		15,4	8,1

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan



Estos elementos (Cd y Pb), fueron aplicados forma independiente como combinados en re puede apreciar como la variedad de tabaco C. elementos pesados como el Cadmio y el tratamientos en que se aplica Cadmio, ya sea combinado con el Plomo o de forma aislada, este elemento es absorbido y acumulado mayoritariamente en la raíz y en el primer corte de la hoja (libre pié), aunque también se observan diferencias significativas en su absorción en el tallo con respecto al tratamiento testigo y al tratamiento con Plomo.

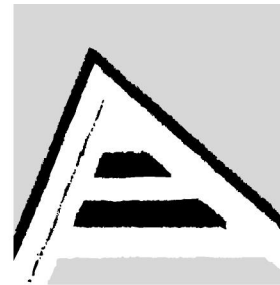
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

En el caso del Plomo el comportamiento es algo diferente por cuanto, además de acumularse en la raíz, tallo y primer corte de la hoja, pueden encontrarse cantidades significativamente diferentes en el segundo corte de la hoja (uno y medio). No se observan diferencias significativas en los contenidos de Plomo en el centro de la planta y en la corona, donde sus concentraciones son las mas pequeñas. El hecho de que estos elementos se acumulen fundamentalmente en la parte basal de la planta parece estar relacionado con su inmovilidad relativa.

En el caso de ambos elementos se observa un comportamiento similar en la planta y la misma tendencia de esta de acumular tanto en la raíz, tallo y primeros cortes de la hoja. Wagner (1986) encontró que la variedad *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora del Cadmio, tanto en las hojas como en la raíz de la planta, lo que confirma los resultados alcanzados.

A continuación se realiza un análisis de cómo influyen el Cadmio y el Plomo en la asimilación por la planta de otros elementos considerados esenciales para su crecimiento y desarrollo.

En la Tabla 4.8 se muestra la influencia del Cadmio y el Plomo en la acumulación y/o asimilación de los elementos Hierro (Fe), Magnesio (Mg) y Fósforo (P) en la planta de tabaco.



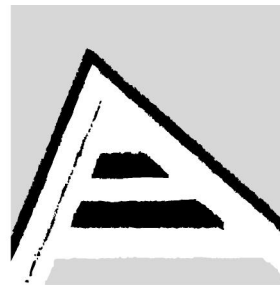
**Tabla 4.8.- Influencia de Cadmio y Plomo en la acu
la planta de tabaco**

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Planta	Tratamiento	Magnesio (%)		
RAIZ	Testigo	0,34ij		
	Cadmio	0,35hij		
	Plomo	0,35hij	0,25gh	0,13cd
	Cadmio+Plomo	0,32j	0,28def	0,16abc
TALLO	Testigo	0,40fghi	0,26fg	0,13d
	Cadmio	0,41efgh	0,27efg	0,16abc
	Plomo	0,38ghi	0,27efg	0,14bcd
	Cadmio+Plomo	0,38ghi	0,27efg	0,13d
LIBRE PIE	Testigo	0,45bcdef	0,22ij	0,13bcd
	Cadmio	0,50abc	0,20j	0,16ab
	Plomo	0,53a	0,20j	0,16ab
	Cadmio+Plomo	0,46abcde	0,21j	0,17a
UNO Y MEDIO	Testigo	0,40fghi	0,31abc	0,04fg
	Cadmio	0,51abc	0,31abc	0,05f
	Plomo	0,40fghi	0,27efg	0,08e
	Cadmio+Plomo	0,42defg	0,29cde	0,09e
CENTRO	Testigo	0,45cdef	0,30abcd	0,03fgh
	Cadmio	0,50abc	0,30abcd	0,03fgh
	Plomo	0,51abc	0,27efg	0,03fgh
	Cadmio+Plomo	0,51abc	0,27efg	0,03fgh
CORONA	Testigo	0,47abcde	0,31abc	0,02h
	Cadmio	0,52ab	0,33a	0,02gh
	Plomo	0,49abcd	0,32ab	0,02h
	Cadmio+Plomo	0,50abc	0,30abcd	0,02gh
Error Std		0,01	0,008	0,008
Desv. Std		0,08	0,06	0,06

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Como se aprecia en la tabla anterior, el Magnesio es acumulado de forma homogénea en los diferentes cortes de la planta lo cual debe estar relacionado con las funciones de este elemento en la planta y a su gran movilidad en la misma. El menor contenido de

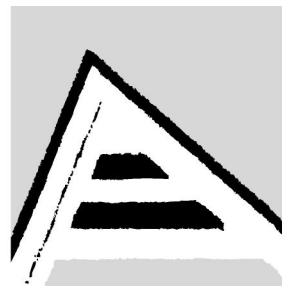


Magnesio se encuentra en las raíces. Las raíces
clorofila también requieren magnesio, pero en la
activación de numerosas enzimas. No se apoya
sobre la asimilación de este elemento.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

El Fósforo tiene un comportamiento característico por cuanto los niveles mas bajos de este nutriente se encuentran en la raíz, el tallo y en las hojas mas viejas, o sea en el primer corte o libre pié. Los mayores contenidos de Fósforo se detectan en los cortes superiores de la planta. A partir del segundo corte (uno y medio), este elemento se presenta con bastante homogeneidad, dada sus funciones relacionadas con la síntesis y degradación en las moléculas de ATP y a su movilidad en la planta.

En el caso del Hierro se puede observar un comportamiento contrario con respecto al Fósforo. El Hierro es muy poco móvil en la planta, tal vez porque está precipitado como óxido insoluble o en forma de fosfatos orgánicos o inorgánicos. Existen evidencias de que se trata de formas de precipitación débiles, pero quizás se produzcan otros compuestos insolubles similares. En este caso se aprecia que el Hierro se acumula fundamentalmente en la raíz, tallo y primer corte de hojas, mientras que los contenidos descienden hacia los cortes superiores. Un comportamiento similar fue demostrado por Sivori (1980), el cual planteó que este hecho debía estar relacionado con la poca movilidad del elemento en la planta.



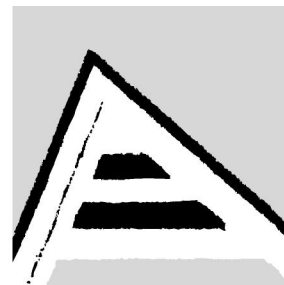
En la Tabla 4.9 se muestra la influencia de las absorción y acumulación del Potasio, Calcio, Bo

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Tabla 4.9.- Influencia de Cadmio y Plomo en la acumu
planta de tabaco

Planta	Tratamiento	Potasio (%)	Calcio (%)	Boro (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)
RAIZ	Testigo	3,67gh	3,92cdefgh	37,5ab	29,5ef
	Cadmio	3,67gh	3,99bcdefg	35,5b	29,5ef
	Plomo	3,65gh	3,85fghi	40,5ab	29,5ef
	Cadmio+Plomo	3,50h	4,04bcdef	35,5b	32,5cd
TALLO	Testigo	4,90a	4,07abcd	54,0ab	20,5i
	Cadmio	4,81ab	4,12abc	55,0ab	26,0g
	Plomo	4,85a	4,16ab	53,0ab	22,5hi
	Cadmio+Plomo	4,45bcd	3,89defghi	46,0ab	21,7hi
LIBRE PIE	Testigo	4,33cd	4,03bcdef	52,5ab	23,5h
	Cadmio	3,86efgh	4,02bcdef	66,3ab	32,0cd
	Plomo	4,13def	4,26a	51,5ab	27,8fg
	Cadmio+Plomo	3,74fgh	3,86efghi	42,5ab	21,5hi
UNO Y MEDIO	Testigo	4,75ab	3,69ij	55,0ab	26,8g
	Cadmio	4,57abc	3,78hi	73,5a	31,3de
	Plomo	4,18de	3,57jk	54,3a	31,0de
	Cadmio+Plomo	4,61abc	3,51k	39,3ab	23,8h
CENTRO	Testigo	4,37cd	3,82ghi	60,0ab	35,8b
	Cadmio	4,19de	3,85fghi	54,0ab	32,5cd
	Plomo	3,95efg	3,89defghi	65,0ab	33,8bc
	Cadmio+Plomo	4,18de	4,06bcde	58,8ab	30,5de
CORONA	Testigo	3,88efgh	3,86efghi	45,5ab	32,8cd
	Cadmio	3,88efgh	3,84fghi	51,3ab	38,3a
	Plomo	3,75fgh	3,80ghi	52,5ab	33,8bc
	Cadmio+Plomo	3,87efgh	4,05bcdef	52,3ab	31,8cde
Error Std		0,06	0,03	2,1	0,7
Desv. Std		0,44	0,18	14,6	4,8

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan



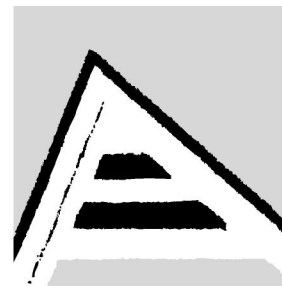
Como se aprecia en la tabla anterior, se ve el comportamiento de estos elementos. En el macronutriente muy móvil, el mismo debe moverse a los superiores, aunque esto ocurre normalmente cuando va llegando a su madurez fisiológica y no en su madurez técnica. Este momento, en la variedad Criollo 98, no se encuentra exactamente definido. Las máximas concentraciones de Potasio se obtienen en el segundo corte de la hoja (uno y medio) y las más bajas en la raíz.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En el caso del Calcio, los niveles más bajos se determinaron en los cortes donde son más elevados los niveles de potasio (K), lo que debe estar asociado a un proceso de antagonismo, cuando las concentraciones de uno de los cationes analizados predomina sobre el otro. Es de señalar que esto se acentúa más en presencia de Cadmio que en presencia del Plomo, aún cuando se apliquen combinados. En algunos casos las plantas pueden crecer con niveles relativamente bajos de Calcio. Se pueden obtener plantas sanas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) con contenidos muy bajos de calcio, pero para ello es necesario reducir el nivel de algunos otros cationes como Mg^{2+} , Cu^{2+} , y $Fe^{(2+, 3+)}$, pues de otra forma estos resultan tóxicos. Un suministro elevado de calcio puede ayudar a desintoxicar la planta de otros elementos, como ocurre con el exceso de cobre.

El Boro, por ser un microelemento inmóvil dentro de la planta, tiende a acumularse en los cortes más bajos de ésta, siempre y cuando existan las condiciones adecuadas en el suelo para su absorción. La aplicación de Cadmio y Plomo puede inducir reacciones con los iones del ácido bórico presente en la disolución del suelo, produciendo la formación de las correspondientes sales de borato de Cadmio y de Plomo, que al ser insolubles precipitan y pierden la probabilidad de ser absorbidas por la planta. Tal situación se puede superar hacia las etapas finales del cultivo, por lo que aumentan sus niveles en los cortes superiores.

Tales condiciones parecen tener cierta influencia en la absorción del Cobre, el cual se



acumula en mayor medida hacia los cortes si
poco móvil dentro de la planta. El cobre par
respiratoria mediante la catálisis de las enzin
experimento se pudo establecer un valor mínim
un valor máximo de 38,5 mg/kg y una media de 29,1 mg/kg.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

El cobre es un micronutriente vital para las plantas, jugando un rol irremplazable en la acción metabólica de un gran número de enzimas celulares. No obstante, puede provocar efectos tóxicos a niveles algo superiores a sus concentraciones esenciales. Los síntomas de la fitotoxicidad del cobre son la reducción del desarrollo de las ramas y el engrosamiento y coloración anormalmente oscura de las radículas de muchas plantas.

Dado que el cobre cataliza la formación de radicales libres reactivos capaces de iniciar la peroxidación de los ácidos grasos no saturados en las biomembranas, su toxicidad puede deberse, al menos en parte, a este daño oxidativo de los tejidos (Navari-Izzo et al., 1998 citado por Eija Pätsikkä, et al. 2002). En la investigación de Navari-Izzo et al. (1998), relacionada con la toxicidad del cobre sobre enzimas antioxidantes cloroplásticas del *Triticum durum* (trigo), los experimentos in vitro realizados mostraron que este metal puede actuar como un eficiente generador de especies tóxicas oxigenadas por su efecto inhibidor en la actividad de los fotosistemas.

Doncheva et al. (1996) sugieren que una de las manifestaciones de la toxicidad del cobre es una alteración de la estructura nuclear del vegetal conducente a un decrecimiento de la actividad metabólica. Millis (2004) estableció que las concentraciones máximas admisibles de cobre en hojas y tallo oscilan entre 20 y 30 mg/kg, con pocas excepciones.

En la Tabla 4.10 se muestra la acumulación del Manganeseo, Zinc y Níquel en los diferentes cortes de la planta de tabaco.

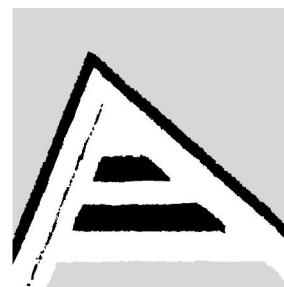


Tabla 4.10.- Influencia de Cadmio y Plomo en la acu diferentes cortes de la planta de tabaco

Tratamiento/Corte	Manganeso (mg/Kg)		
T (Raíz)	73,5bc		
Cd (Raíz)	75,5b		
Pb (Raíz)	69,5cd	71,5abcd	3,2ab
Cd+Pb (Raíz)	73,5bc	76,5a	3,2ab
T (Tallo)	64,5e	68,0bcde	1,5cdefg
Cd (Tallo)	65,0de	68,5bcde	1,4defg
Pb (Tallo)	64,5e	66,5cdef	1,5cdefg
Cd+Pb (Tallo)	61,5f	65,5cdef	1,6bcdefg
T (Libre pie)	72,5bc	55,0gh	3,0abcd
Cd (Libre pie)	72,5bc	52,5h	3,8a
Pb (Libre pie)	65,0de	55,0gh	1,8bcdefg
Cd+Pb (Libre pie)	82,5a	52,5h	1,8bcdefg
T (Uno y medio)	55,0gh	65,0def	2,0bcdef
Cd (Uno y medio)	50,0ij	62,5ef	1,3efg
Pb (Uno y medio)	57,5fg	60,0fg	1,3efg
Cd+Pb (Uno y medio)	55,0gh	55,0gh	1,3efg
T (Centro)	50,0ij	75,0ab	1,0fg
Cd (Centro)	46,5jk	65,0def	1,3efg
Pb (Centro)	44,3k	62,5ef	2,8abcde
Cd+Pb (Centro)	44,5k	67,5cde	0,3g
T (Corona)	55,0gh	60,0fg	1,0fg
Cd (Corona)	52,0hi	65,0def	1,0fg
Pb (Corona)	44,3k	60,0fg	1,0fg
Cd+Pb (Corona)	43,5k	55,0gh	0,3g
Error Std	1,75	1,1	0,16
Desv. Std	11,6	7,4	1,10

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

En esta tabla se muestra la redistribución del Manganeso en la planta. La acumulación de este micronutriente se produce fundamentalmente en la raíz, el tallo y en el primer



corte de la hoja o libre pie, independientemente al suelo.

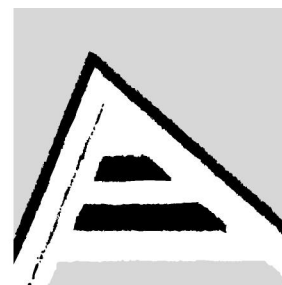
Se observa que cuando se aplicó Cadmio y P

estímulo en la absorción y acumulación del Mn encontrándose un nivel máximo de 82,5 mg/kg, altamente significativo con respecto al resto de la planta.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

El Zinc se acumula en la raíz, el tallo y en la parte central de la planta o en el tercio superior de la misma. Prácticamente no se observan diferencias significativas entre los tratamientos en la raíz y el tallo. El hecho de que el Zn se acumule en la parte central de la planta, se corresponde con lo planteado por Borroto (1991). Tanto el Zn como el Mn son microelementos poco móviles en la planta por lo que su acumulación en una u otra parte de la misma está en correspondencia con las circunstancias o condiciones que se presenten en la solución del suelo y en la relación inter-nutriente, ya que elevadas concentraciones de Mn en el suelo pueden interactuar antagónicamente con el Cobre, Hierro y el Zinc, al provocar su oxidación y por lo tanto su insolubilidad (Sivori, 1980).

Con respecto al Níquel, se aprecia una fuerte tendencia de este elemento de quedar mayoritariamente retenido en la raíz de la planta. Por otra parte, y en relación con la acumulación del Ni en las hojas, se observa que en el testigo y en los tratamientos con Cadmio hay un estímulo en la acumulación de este elemento en el primer corte o libre pie, no siendo así en presencia del Plomo, donde la máxima acumulación se presenta en el centro de la planta, todo ello debe estar relacionado con las condiciones del suelo y de la interacción inter-nutriente, ya que ninguno de estos elementos es esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta de tabaco.



Análisis del suelo post-cosecha.

En la Tabla 4.11 se muestran los resultados de parcelas, después de la recolección completa d

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

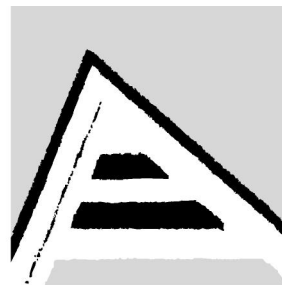
Tabla 4.11.- Análisis de suelo en las

Elementos		Tratamientos				Estadística	
		Testigo	Trat. Cd	Trat. Pb	Trat. Cd+Pb	Std. Error	Std. Dev
%	Na	0,008b	0,003c	0,012a	0,004c	0,001	0,004
	K	0,14a	0,17a	0,18a	0,17a	0,01	0,04
	Ca	0,175a	0,180a	0,180a	0,180a	0,002	0,006
	Mg	0,064a	0,076a	0,076a	0,075a	0,004	0,01
	P	0,031a	0,032a	0,032a	0,030a	0,001	0,002
	Fe	0,84a	0,92a	0,90a	0,89a	0,02	0,05
mg/kg suelo	B	<1,25a	<1,25a	<1,25a	<1,25a	0,0	0,0
	Cu	12,75b	17,13a	11,38b	11,13b	0,9	2,6
	Ni	4,13a	4,50a	4,50a	4,63a	0,18	0,5
	Mn	223,8b	253,8a	243,8a	250,0a	4,6	13,1
	Zn	23,5a	27,5a	26,0a	25,0a	0,7	1,9
	Cd	0,38b	1,75a	0,25b	0,50b	0,2	0,6
	Pb	17,38a	15,38a	17,00a	15,25a	0,6	1,6

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

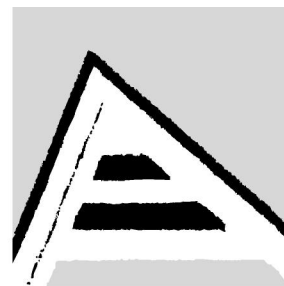
Los resultados anteriores muestran una gran homogeneidad entre las parcelas, independiente del tratamiento utilizado en cada una de ellas. Lo mas importante a destacar es el hecho de que tanto el Cadmio como el Plomo, aplicados solos, o en el tratamiento combinado, han sido extraídos del suelo por la planta de tabaco, de manera que no existen diferencias significativas entre el suelo testigo y el suelo del resto de los tratamientos. Solo en el caso del tratamiento con Cadmio quedan en el suelo 1,75 mg/kg de este elemento, significativamente diferente con el testigo y con los restantes tratamientos, sin embargo esta concentración de Cadmio en el suelo no es considerada tóxica por la directiva europea 86/278/CEE sobre contenido en metales pesados en suelos agrícolas.



Teniendo en cuenta los valores de metales pesados indicados en la directiva 86/278/CEE para superar los límites establecidos. Estos valores son: Cu 100 ppm; Zn 350 ppm; Ni 75 ppm. Los contenidos en la directiva.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Comparando las medias obtenidas con las correspondientes a suelos naturales del mundo, se obtiene que los valores de estos metales pesados estén por debajo de dichas medias (Kabata-Pendias, 1992; Alloway, 1995 y Adriano, 1997). Estos resultados avalan la posibilidad de utilizar la planta *Nicotiana tabacum* L., variedad "Criollo 98" en técnicas de Fitorremediación.

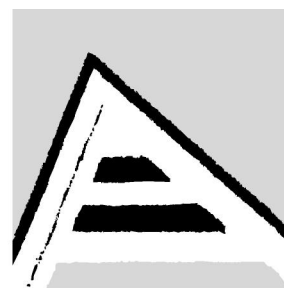


CAPÍTULO 4
COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD
CONTAMINADO CON Cd Y Pb

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Conclusiones:

- 1- Los metales pesados Cadmio y Plomo influyen negativamente sobre los índices morfológicos área foliar y relación PA/PR.
- 2- Los índices fisiológicos Producción de masa seca y la TAN se incrementan en presencia de Cadmio, mientras que en presencia de Plomo se reducen.
- 3- Los metales pesados Cadmio y Plomo cuando están presentes en el suelo son rápidamente absorbidos por la planta de tabaco, la cual los acumula fundamentalmente en la raíz y en las hojas basales.
- 4- La presencia de Cadmio y Plomo incide positivamente en la asimilación y acumulación de ambos elementos sugiriendo un mecanismo de sinergismo entre ambos elementos.
- 5- Los metales pesados Cadmio y Plomo aplicados al suelo en forma de Quelatos no provocan reacciones antagónicas con los demás cationes de igual carga tanto macro como micro elementos.
- 6- La planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, Variedad "Criollo 98" tiene buenas cualidades y características que permiten su uso en técnicas de Fitorremediación.



CAPÍTULO 5

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE DIFE VARIEDAD DE TABACO “CRIOLLO 98” CULT

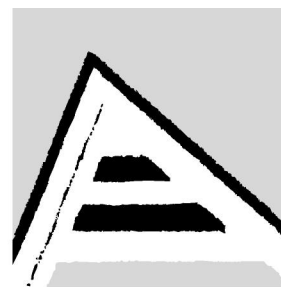
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior de este trabajo, se describe el desarrollo de un experimento, el cual consistió esencialmente en estudiar el comportamiento de la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L) variedad “Criollo 98” en un suelo contaminado con los metales pesados Cadmio y Plomo. Los resultados obtenidos, en cuanto a la asimilación de Cadmio y Plomo por esta planta fueron interesantes y significativos y establecían la idea de que esta variedad de tabaco podía ser utilizada en técnicas de fitorremediación. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se planificó y llevó a cabo un experimento de cultivo con esta variedad de planta, utilizando un sustrato artificial y relativamente inerte, para un mejor control de las variables estudiadas.

Se realizó un estudio de los principales materiales utilizados como sustratos en cultivos hidropónicos, sus características físicas, propiedades químicas, así como otras propiedades importantes y que son necesarias tener en cuenta para el empleo de estos materiales para tal fin.

El cultivo de plantas en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en pleno suelo (Abad, 1993). Al cultivar en contenedor las características de éste resultan decisivas en el correcto crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato. En el caso del cultivo de plantas en contenedor el volumen de sustrato es limitado y de él las plantas absorberán el oxígeno, agua y nutrientes. Por otra parte, hay referencias que indican que en el cultivo intensivo de plantas, en el que las temperaturas están controladas y los niveles de nutrientes en el sustrato acostumbran a ser altos, se produce una mayor absorción de agua y transpiración por parte de la planta, debido a que el tiempo de apertura de estomas es



superior (Abad, 1993); esto obliga a regar frecuentemente para que exista agua fácilmente disponible en el sistema. Esto puede ocasionar problemas por falta de aireación. Por lo tanto, se deben usar sustratos con una elevada porosidad. Esta es la razón por la que el suelo agrícola no pueda ser utilizado para el cultivo en hidroponía.

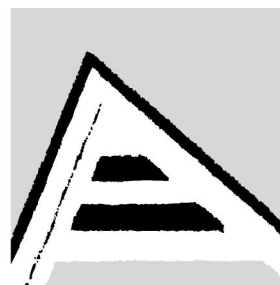
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Se define por sustrato un medio sólido inerte, que tiene una doble función: la primera, anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. Los materiales que se han experimentado para uso de laboratorio y para cultivos comerciales son muchos y no siempre han respondido positivamente desde el doble punto de vista técnico y económico (Abad y Noguera, 1997).

Las propiedades de tipo físico resultan de enorme importancia para el correcto desarrollo de la planta; cabe señalar, que una vez colocada ésta en el contenedor resulta prácticamente imposible modificar sus parámetros físicos iniciales. Algo contrario ocurre con las propiedades de tipo químico, que pueden resultar modificables mediante técnicas de cultivo adecuadas. Esto hace que deba de contemplarse con especial cautela todo lo referente a los parámetros físicos, en especial al binomio “retención de agua – aireación”. Condición responsable del éxito o fracaso de la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo.

La granulación (dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato) ha de ser tal que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire. Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo, e impide el paso del aire. En general la experiencia señala como mejores aquellos sustratos que permiten la presencia del 15 al 35 % de aire y del 20 al 60 % de agua en relación con el volumen total (Burés, 1997).

Un sustrato hidropónico debe reunir un conjunto de características que lo hagan apto para el cultivo. No siempre un sustrato reúne todas las características deseables; por



ello a veces se recurre a mezclar diversos r
que les falta a otros (Burés, 1999).

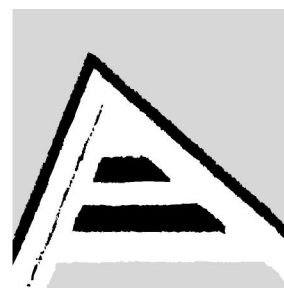
Características:

1. Debe retener humedad
2. Debe permitir buena aireación
3. Debe tener buena estabilidad física
4. Debe ser inerte químicamente
5. Debe ser inerte biológicamente
6. Debe tener buen drenaje
7. Debe tener capilaridad
8. Debe ser liviano
9. Debe ser de bajo costo
10. Debe estar disponible

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

La retención de humedad por el sustrato, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad a la planta, de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas. La retención es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen. Para juzgar adecuadamente los materiales disponibles es muy útil conocer la capacidad de humedad a saturación y la retención a capacidad de campo, es decir, la cantidad total de agua que el sustrato puede contener y la cantidad que retiene después de que el líquido ha sido ya eliminado por gravedad a tensión cero. Este último dato es de capital importancia porque indica en qué medida el material mantiene la humedad alrededor de las raíces y hasta qué punto permite que circule el aire.

La retención de humedad en peso nos indica la cantidad de agua que es capaz de retener un kilogramo de sustrato, mientras que la retención de humedad expresada en volumen nos indica la cantidad de humedad que puede retener la unidad de volumen de sustrato. Por ejemplo 100 gramos de cascarilla de arroz puede retener 40 gramos de agua y 100 ml de cascarilla pueden retener 11 ml de agua. El segundo concepto



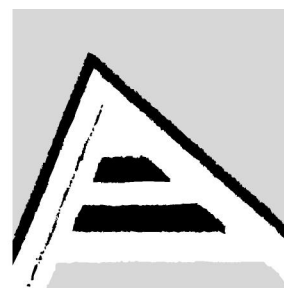
importante a tener en cuenta, aparte de la cantidad con la que esta es retenida. Usualmente en este caso específico de sustratos, se mide en cuando empiezan a extraer el agua del sustrato, la tensión a un punto tal que las plantas ya no pueden extraer

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Distribución del tamaño de Partículas. Muchos sustratos están constituidos por una mezcla de partículas con tamaños diferentes. Las propiedades físicas de estos sustratos variarán en función de la distribución del tamaño de sus partículas, siendo por tanto de importancia fundamental la caracterización granulométrica de los materiales. El tamaño de las partículas afecta al crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad (Canovas y Díaz, 1993).

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0,9 mm, con poros grandes, superiores a 100 μ m, retienen cantidades reducidas de agua pero están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0,25 mm y tamaño de poros inferior a 30 μ m, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura media a gruesa, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 μ m y 300 μ m, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0,25 mm y 2,5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, un adecuado contenido en aire (Raviv *et al.*, 1986; Puustjarvi, 1994).

Por último es necesario insistir en la importancia que tiene la homogeneidad del sustrato, tanto dentro del mismo lote como entre los diferentes lotes. La curva de retención de agua es muy sensible a las variaciones de la granulometría o de la longitud de fibra del material que constituye el sustrato. Si el lote de sustrato no se ha homogeneizado puede ocurrir que algunas partes del mismo sustrato tengan diferentes propiedades físicas. En estas condiciones cuando unas partes tengan un contenido



adecuado de agua en otras se darán condicione
difícil un buen manejo del agua de riego.

Se debe procurar, en la zona de las raíces, una

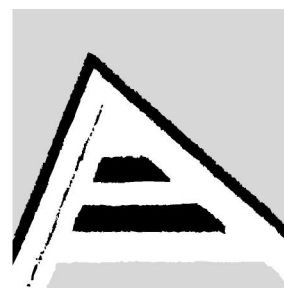
70% de espacio vacío, el cual será ocupado a p

reducirse la parte sólida del sustrato hasta un 10%. Mientras más elevada sea la capacidad de retención de agua del sustrato, menos frecuentes deben ser los riegos; además, no debe obstruirse la parte porosa ocupada por aire, es decir, que deben existir bastantes macroporos. Se puede obtener una porosidad óptima mezclando en forma apropiada materiales compactos con otros porosos y de gránulos gruesos; también se pueden obtener los mismos resultados utilizando materiales orgánicos, como la cascarilla de arroz o el aserrín, los cuales poseen una estructura esponjosa y mejoran, por tanto, la porosidad al aire y al agua.

Cuando el sustrato es demasiado fino, o cuando el recipiente no tiene los orificios o la forma que permita un drenaje adecuado sucede que los espacios vacíos del sustrato se llenan de agua, desalojando el aire e impidiendo entonces la adecuada oxigenación de las raíces. Al poco tiempo, las raíces se vuelven de un color carmelito y después se van muriendo. Cuando un sustrato contiene materia orgánica como cascarilla de arroz, viruta o aserrín, son más graves las consecuencias de la inundación, ya que dichos sustratos se descomponen, consumiendo el oxígeno necesario para la respiración de las raíces.

Una importante condición para el éxito en los cultivos hidropónicos es la respiración suficiente de las raíces. Algunas plantas requieren altas presiones parciales de oxígeno en el ambiente radicular. En consecuencia el tipo de sustrato y en especial su granulometría son de fundamental importancia. El empleo de un sustrato con estructura estable muy poroso y la aireación complementaria de la solución, evitan el peligro de la falta de oxígeno en la zona radicular, siendo ésta aún mejor que la obtenida en los suelos naturales. Cuando el medio radicular se vuelve anóxico, empiezan a proliferar bacterias anaerobias, las cuales obtienen el oxígeno a expensas de sustancias como

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



los carbohidratos. Estas bacterias actúan como constituyentes de los tejidos vivos como de l

inician la muerte y el proceso de "pudrición".

Universitat d'Alacant

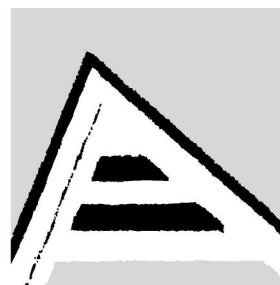
Universidad de Alicante

El espacio poroso de un sustrato se subdivide en macroporos, ($> 200 \mu\text{m}$), mesoporos ($200 - 30 \mu\text{m}$) y microporos ($< 30 \mu\text{m}$). El agua gravitacional circula ampliamente por los macroporos y aun por los mesoporos. El movimiento se va restringiendo paulatinamente a medida que disminuye el tamaño de los poros y finalmente el agua retenida en los poros menores de $30 \mu\text{m}$ es de muy poca circulación. Estos son los poros que retienen el agua. Entre mas pequeños retendrán el agua con mayor fortaleza (Canovas et al., 1999).

La estabilidad física será la que determine si se mantiene con el tiempo una porosidad correcta, dependiendo de la velocidad de disgregación y descomposición del material. Esta deberá ser lo mas lenta posible. Los materiales más inadecuados son aquellos que se disgregan fácilmente con la acción del agua. La cascarilla de arroz quemada se disgrega más lentamente que la cascarilla de arroz cruda. Esto debido a que los microorganismos (bacterias) atacan con menos facilidad el carbón resultante de la cascarilla de arroz quemada.

Se conoce que las características de los sustratos han de ser diferentes en función de su finalidad; por ejemplo, si va destinado a unos semilleros se requiere un sustrato de fácil manejo, con el mínimo de perturbación para las raíces, de textura fina y elevada retención de agua para mantener una humedad constante, escasa capacidad de nutrición y baja salinidad. Características diferentes deberían de tener los sustratos destinados al enraizamiento de estaquillas o al crecimiento y desarrollo de las plantas (Llurva, 1997).

Desde el punto de vista químico, el sustrato también deberá satisfacer ciertas condiciones. Deberá ser químicamente inactivo, o sea, no absorber ni suministrar ningún elemento nutritivo, puesto que esto representaría una alteración en la solución



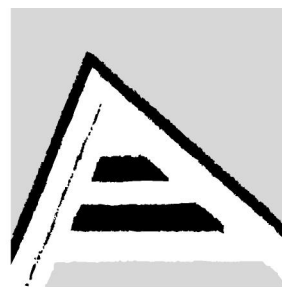
nutritiva. El aserrín de ciertas maderas, puede ser tóxico para las plantas. Igualmente las virutas han resultado con frecuencia tóxicas, algunos cloruros y otras por la presencia de taninos. En algunas zonas costeras pueden reaccionar a desbalances que conducen a deficiencias de Fósforo y de Hierro,

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

El sustrato hidropónico debe ser, a diferencia del suelo, un medio carente de actividad biológica; en este sentido, cualquier presencia de insectos o patógenos tendría un carácter explosivo, ante la total ausencia de controles naturales. En cuanto a la parte biológica al comienzo del cultivo, el sustrato deberá estar libre de plagas o enfermedades; es peligroso, por tanto, cualquier material que contenga tierra o compost no desinfectados pues los daños por patógenos como Nemátodos o Fusarium podrían ser fatales en este caso. Este riesgo puede ser superado mediante una cuidadosa desinfección. Cuando se recurre al uso de mezclas que contienen suelo se deberá realizar una cuidadosa selección del suelo a usar y de ser posible, una desinfección por medio del vapor, agua hirviendo o algún desinfectante químico (Fernández et al. 1998).

Todo tipo de recipiente y de sustrato que se esté utilizando, deberá permitir un buen drenaje. Cuando una planta hidropónica requiere mayor cantidad de agua, debemos aplicar mayor cantidad de riegos, pero nunca debemos inundar el sustrato con el fin de ahorrar riegos, ya que esto va contra la disponibilidad de oxígeno (De Boodt et al., 1974).

La capilaridad consiste en la capacidad que tiene un sustrato de absorber agua a través de los microporos y de transportarla en todas las direcciones. La más crítica de las direcciones es la vertical, ya que en ella se realiza el transporte de agua en contra de la gravedad. Por tal motivo la denominamos Capilaridad Ascensional. Esta propiedad es esencial cuando se usa un sistema de riego por goteo, en el cual se necesita que el agua se distribuya horizontalmente a partir del punto del goteo. Cuando el sustrato no tiene capilaridad, el agua se mueve verticalmente a través del perfil del mismo, llegando



rápida al drenaje y dejando zonas secas sistema radicular. Cuando el sustrato tiene bu todas las direcciones, haciendo que el sistema humedad homogénea en todo el recipiente (Mo

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

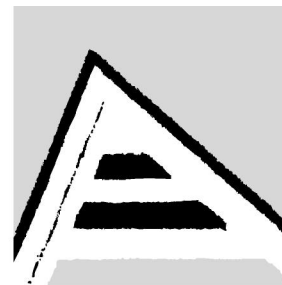
Características de algunos sustratos:

La cascarilla de arroz. Este material es un subproducto de la industria molinera, que se produce ampliamente en las zonas arroceras y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, dado su alto contenido de sílice. Es liviano y su principal costo es el transporte (Martínez y García, 1999).

Se presenta como material liviano, de buen drenaje, buena aireación, pero presenta una baja retención de humedad inicial y es difícil conservar la humedad homogéneamente cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas. A medida que envejece va aumentando su capacidad de retención de humedad. Se comporta bien como sustrato en los sistemas que utilizan canaletas. Tiene una buena inercia química inicial, aunque con el paso de los años, dos o mas, se va descomponiendo.

Cáscara de Coco. Es un material orgánico de lenta descomposición que resulta como subproducto en las plantaciones de Coco. A pesar de ser un material orgánico, su descomposición es muy lenta debido a su elevado contenido de lignina (45 %). Es un material duro de descomponer. La cáscara de coco contiene dos clases de materiales. Uno de aspecto parecido al corcho, pero de poro abierto, de gran capacidad de absorción de agua y de gran capilaridad y otro consistente de fibras de longitud variable que pueden llegar hasta 4 cm. de longitud. En algunas explotaciones se retira la fibra a la cual se le dan usos textiles y el material corchoso resultante se comercializa como sustrato para cultivos hortícola.

La cáscara de coco dado su origen en regiones costeras suele ser un material rico en sales, especialmente Sodio y Cloruros. Estos deben ser evacuados previamente a su



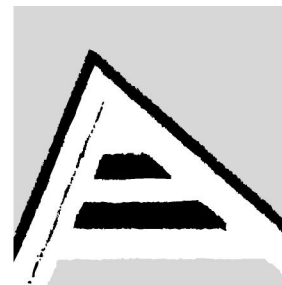
utilización como sustrato hidropónico, lo cual es estas sales no se encuentran fuertemente reteni

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Arenas. Es una de las sustancias más utilizadas mejora la estructura del sustrato, pero aportan deben contener elementos nocivos tales como sales, arcillas o plagas. El grano no debe ser grueso. La arena de río, que es la mejor, debe estar limpia para ser utilizada en sustratos. La arena utilizada en construcción no es buena porque lleva mucha arcilla y se compacta. De las diversas arenas existentes, la de río es la más adecuada como sustrato para los Cultivos Hidropónicos. El tamaño de los granos deberá estar comprendido entre 0.5 y 2 milímetros.

Al considerar las arenas, es necesario tener en cuenta que tengan un contenido mínimo (casi nulo), de arcillas que traigan problemas de fijación iónica. Esto hace que las areniscas descompuestas (arena de peña) no sean muy aconsejables para los Cultivos Hidropónicos. En el uso de muchas de estas arenas se suele presentar una severa deficiencia de fósforo, ya que la arena puede retener o fijar el fósforo de la solución nutritiva, no dejándolo disponible para las plantas. La arena corriente de río es utilizable cuando su contenido en Carbonato de Calcio es inferior al 20 %. Las arenas ricas en Carbonato de Calcio, como las arenas coralinas de playa, no son recomendables por su capacidad para alterar las soluciones nutritivas (Sade, 1997).

Como ventajas del cultivo en arena deben considerarse el suministro fácil y barato del sustrato, el ahorro de la lucha contra las malezas y su buena conservación. Como desventajas, la difícil aireación en caso de tener el material granos muy finos y el inconveniente de que la humedad del sustrato y la concentración de sales de la solución, presentan fuertes variaciones en caso de no ser manejadas con mucho cuidado, lo cual da lugar a problemas en el crecimiento. Esto suele ocurrir especialmente cuando se aportan los elementos nutritivos en forma sólida, regando a continuación. También ocurre cuando se utilizan soluciones nutritivas que no poseen un balance adecuado para Cultivos Hidropónicos.



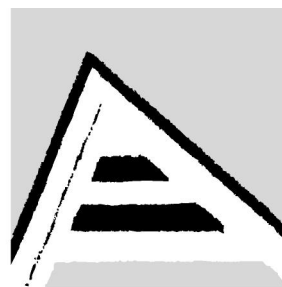
Gravas. Las gravas o gravillas son pedazo encontradas en estado natural en los lechos de van desde 5 mm hasta 25 mm. Las gravas, Hidroponía de sub-irrigación. Por el tamaño distribución del agua horizontalmente, a la vez

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tienen magnífico drenaje, por lo que se pueden utilizar para cultivos en canaletas. Por lo afilado e irregular de las partículas, pueden presentar problemas a los cultivos de bulbos o raíces y a los tallos de las plantas. La selección de la clase y tamaño de la grava es muy importante. El mejor tamaño es el comprendido entre 6 mm y 12 mm. Se puede usar roca triturada pero es mejor la grava redondeada de río. La grava calcárea puede presentar problemas de reacción con la solución nutritiva. En general este tipo de sustrato requiere de una alta frecuencia de riego, sobre todo cuando la profundidad del recipiente es pequeña. Para instalaciones con 15 a 20 cm de profundidad se pueden requerir hasta 8 riegos diarios (Terres et al., 1997).

Escorias de carbón. Las escorias son residuos de la quema de carbón mineral provenientes de hornos y calderas, muy utilizados por floricultores y viveristas para el enraizamiento. Es un buen sustrato, mientras se cuida su granulometría, pues cuando es muy fina, produce encharcamientos y cuando es gruesa tiene los mismos problemas de las gravas de muy baja retención de humedad. Como sustrato tiende a degradarse físicamente hasta convertirse en polvo aunque en general es de muy buena estabilidad física. Puede presentar problemas químicos como fijación de fósforo y excesos de boro. El lavado, el suministro de estos elementos y la corrección de la acidez o alcalinidad (pH) son prácticas obligadas cuando se utilizan estos sustratos. En este sentido es bueno hacer ensayos antes de proceder en escalas mayores. Es un sustrato con muy buena retención y distribución de humedad, de peso medio y de suministro irregular en algunos sitios.

Piedra pómez. La piedra pómez es un material de origen volcánico, muy parecido a la escoria de carbón mineral, la cual se encuentra disponible en diversas zonas



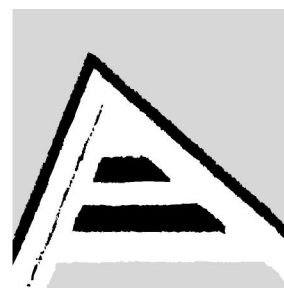
volcánicas. Posee muy buena retención de humedad y estabilidad y durabilidad. A veces puede presentar problemas de azufre y boro, pero estos pueden ser eliminados con agua caliente. No trae ninguna clase de enfermedad biológica es completamente estéril, siempre que contenga mezcla de tierra.

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Aserrines y virutas. Los aserrines y virutas suelen tener el problema del desconocimiento de su origen, lo cual implica un riesgo alto por la eventual presencia de compuestos tóxicos de la madera. Los aserrines y virutas son compuestos orgánicos, con una velocidad de descomposición que depende del tipo de madera y que ocasiona en este proceso un alto consumo de nitrógeno, generando deficiencias de este elemento para las plantas, cuando el suministro se hace a niveles normales en la solución nutritiva. Para que tenga un buen drenaje se deben buscar granulometrías comprendidas entre 3 y 8 mm. Han sido probados con éxito los aserrines de pino y eucalipto.

Ladrillos y tejas molidas. Son buenos sustratos como retenedores de humedad, dada su extraordinaria porosidad. Es necesario cuidar su origen, en cuanto a la presencia de elementos calcáreos o de cemento. Las partículas de molienda, entre 0,5 y 2 cm., conforman una buena granulometría. Cuando las partículas son muy pequeñas presentan problemas de falta de porosidad. Es un sustrato que tiende a degradarse físicamente y por lo irregular de sus partículas pueden presentar los mismos problemas de las gravas. Es pesado y de difícil manejo.

Las turbas: Son los materiales más empleados en la elaboración de sustratos para macetas debido a sus cualidades. Las turbas rubias o poco descompuestas, debido a su estructura, poseen una excelente porosidad y son buenas receptoras de soluciones nutritivas, proporcionando gran aireación a las raíces. Además están libres de gérmenes y semillas de malas hierbas y son bastante ligeras. Después de su humedecimiento y abonado puede ser utilizada inmediatamente. Las turbas negras, más descompuestas



son de peor calidad, retienen peor el agua y pos

Para utilizar la turba hay que desmenuzarla y h
manera se hace difícil su manipulación. Poste
aumentar su pH, aunque ello dependerá del tipo de turba, de la dureza de las aguas

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

empleadas y de los cultivos a desarrollar. Hay que tener en cuenta cuando se utilizan
aguas duras que a lo largo del cultivo el pH se verá aumentado entre 0.5-1 grado. Si se
le ha añadido cal y se ha mezclado con la turba, deberá dejársela en reposo unas 10-12
horas para que la cal reacciones con la turba antes de su utilización. Posteriormente se
procederá al abonado de fondo mediante la adición de un abono complejo en dosis de
1,5 kg por metro cúbico de sustrato (Urrestarazu, 1997).

Otros sustratos. La Espuma de Poliestireno expandido (Icopor) se utiliza como material
de relleno casi exclusivamente con el fin de aligerar el peso de los sustratos y de los
recipientes. La espuma de poliuretano se utiliza generalmente para realizar los
semilleros. En algunas regiones se ha recurrido en menor escala al uso de carbón coke,
carbón de leña y arcilla expandida. Además de los sustratos descritos también se han
utilizado en algunos países la vermiculita, la perlita, las acículas plásticas de PVC, la
turba, el musgo de *Sphagnum* y otros que se nombran en la literatura. Su utilización
práctica esta condicionada a los objetivos buscados con la aplicación de esta
tecnología.

Mezclas. Una alternativa razonable para trabajar con los sustratos, es realizar mezclas
en diferentes proporciones. La arena, la escoria o piedra pómez, son excelentes
mezcladores para garantizar la distribución de la humedad, pero sus proporciones y
elementos dependen del análisis de las características de cada componente en
particular. La gravilla, el ladrillo picado y el aserrín mezclados en proporción de una
parte de cada uno ha sido un sustrato bastante generalizado en algunas zonas.
Mezclas de 2 partes de cascarilla de arroz con una parte de arena fina han servido para
establecer cultivos verticales en bolsas plásticas.

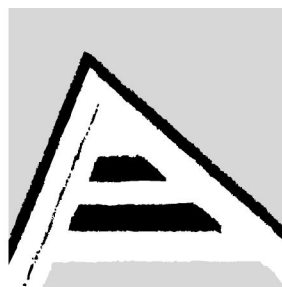


Tabla 5.1 Resumen sobre las principales propiedades

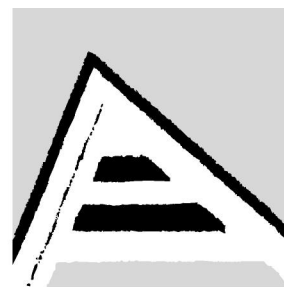
Sustrato	Tamaño de grano mm.	Densidad aparente; kg/m ³	Porosidad Total; % vol	Capa de Air				
Arena de Río	0.5 - 2.0	1.4 - 1.60	38-42	5-20				
Arena de Peña	0.2 - 0.5	1.5 - 2.0	25-35	1-15				
Grava	5 - 15	1.6 - 2.0	40	36				
Piedra Pómez	5 - 10	0.6 - 0.8	75	40-55	20-40	5-8	2-5	Buena
Ladrillo	10	0.8 - 1.0	60	20-25	15-30	5-10	1-5	Buena
Arcilla	4 - 10	0.32-0.70	72-88	47-63	2-5	5-12	10-20	Regular
Expandida								
Perlita	0.1 - 5	0.05 - 0.14	85-95	18 - 60	6-38	2-10	18 - 30	Buena
Escoria de	10	0.8	60-80	40-60	20-30	5-10	2-5	Buena
Carbón								
Carbón Coke	10 - 25	0.6	60-80	50-60	15-25	2-5	1-2	Mala
Carbón de Leña	5 - 10	0.5	65-80	50-60	12-30	5-15	2-5	Mala
Turba	1-2	0.08	90-95	15-40	18-28	6-8	24-53	Buena
Aserrín	4 - 6	0.3	75-90	10-20	20-30	5-10	2-5	Mala
Cortezas de	1-5	0.27	81	38	10-20	5-10	1-5	Mala
Pino								
Cascarilla de	3 - 6	0.12	85-95	40-60	5-15	1-5	0.5	Mala
Arroz Cruda								
Cascarilla de	1-4	0.17	80-90	35-55	10-20	5-10	1-2	Regular
Arroz Quemada								
Cascarilla de	5 - 8	0.15	70-80	40-50	20-30	5-10	2-5	Mala
Café								
Cáscara de	0.2-3	0.08-0.12	82-92	30-50	20-30	2-6	1-5	Buena
Coco								
Picón o Pomina	1-8	0.9	65	52	3.6	0.7	10.5	Mala
Lana de Roca	Bloques	.07-0.1	92-95	30	50	10	5	Buena
Espuma	Bloques	.015	95-97	0-6	50-75	5-10	1-5	Buena
Fenólica								

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.2 Resumen sobre la calificación de los sustratos

Sustrato	Tamaño de grano mm.	Estabilidad Física	Propiedades Químicas	Calidad Biológica	Retención y Aireación	Capilaridad	Densidad kg/M ³
Arena de	2.0	Excelente	Buenas	?	M - M	Buena	2.0
Río							
Arena de	0.5	Excelente	Pésimas	Buena	E - D	Buena	2.0
Peña							
Grava	10	Excelente	Buenas	Buena	D - E	Mala	2.0
Piedra	10	Buena	Regulares	Excelente	M - M	Regular	0.8
Pómez							
Ladrillo	10	Regular	Regulares	Excelente	M - M	Buena	0.8
Escoria de	10	Buena	Regulares	Excelente	M - M	Excelente	0.8
Carbón							
Carbón Coke	10 - 25	Buena	Excelentes	Excelente	B - A	Mala	0.6
Carbón de	5 - 10	?	?	Excelente	?	Regular	0.5
Leña							
Aserrín	4 - 6	Regular	Buenas	Buena	A - B	Buena	0.3
Casc. Arroz	3 - 6	Regular	Regulares	Regular	B - A	Pésima	0.12
Casc. Café	5 - 8	Pésima	Pésimas	?	A - ?	?	0.15
Arcill. Exp.	6 - 10	Excelente	Excelentes	Excelente	M - A	Regular	0.45

D - Deficiente B - Bajo M - Medio A - Alto E - Excesivo ? Valores inciertos



Materiales y métodos

Preparación del sustrato. La preparación experimento con la variedad "Criollo 98" resultó

en cuenta que el proceso tecnológico del tabaco de los suelos. Las raíces de las plantas de tabaco son muy delicadas y requieren suelos sueltos. Es por ello que el veguero rotura sus campos repetidas veces, convirtiendo la vegetación en un nutriente natural del suelo.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

En la búsqueda de un sustrato artificial inerte y con las características adecuadas, se realizaron las primeras pruebas con arena sílice, pero en ningún caso se obtuvo un resultado satisfactorio, debido a que el tamaño de partícula de la arena utilizada era muy pequeño, lo que provocaba una compactación muy fuerte después del riego impidiendo entonces la adecuada oxigenación de las raíces. Al poco tiempo, las raíces se tornaban de un color carmelita y después las plantas morían irremediablemente.

Después de valorar diferentes materiales a utilizar, se obtuvieron los mejores resultados con un sustrato formado por una mezcla de arena de río, grava, cascarilla de arroz y turba. Las proporciones utilizadas fueron: 60% de arena de río, 20% de grava y 20% de turba. Como se puede apreciar, el 80% del sustrato, formado por la arena y la grava, son materiales prácticamente inertes, con un aporte muy limitado de nutrientes a la planta. El 20% de turba añadido proporciona al sustrato una pequeña cantidad de materia orgánica, necesaria para el mejor enraizamiento y posterior desarrollo de la planta.

Para la obtención de las posturas de tabaco se utilizó el procedimiento de cepellón, empleado por las empresas tabacaleras en la producción a gran escala, el cual utiliza un sustrato relativamente inerte formado a base de cáscara de arroz y turba. Las plantas de vivero fueron trasplantadas a bolsas después de los 30 días de la siembra.

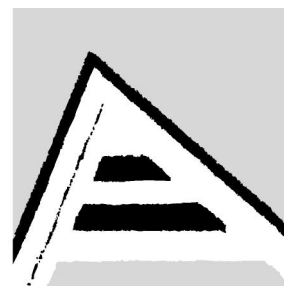


Tabla 5.3 Características físicas de los materia

Sustrato	Tamaño de grano mm.	Densidad aparente; kg/m³	Porosidad Total; % vol	Capac de Air				
Arena de Río	0.5 - 2.0	1.4 - 1.60	38-42	5-20				
Grava	5 - 15	1.6 - 2.0	40	36				
Turba	1-2	0.08	90-95	15-40	18-28	6-8	24-53	Buena
Cascarilla de Arroz	3 - 6	0.12	85-95	40-60	5-15	1-5	0.5	Mala

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.4 Características químicas de los materiales que conformaron el sustrato

Materiales	pH	Ceniza (%)	M.O (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	P (%)	N (%)	C (%)
Turba	3,2-4,0	2-6	85-94	6,4-9,6	4,3-6,1	3-5	-	0,6-2	49,3-54,5
Cascarilla de Arroz	-	12-13	-	0,1-0,15	0,1-0,12	0,2-0,4	0,08-0,1	5-6	-

Diseño del experimento:

Se planificaron 16 tratamientos con 10 réplicas (plantas) por tratamiento. Las características de los tratamientos se resumen a continuación:

T1- Testigo

T2- Cd 2 ppm Dosis baja, no tóxica (Vogeli-Lange and Wagner, 1990; Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006)

T3- Cd 5 ppm Dosis media, generalmente tóxica para plantas y animales. (Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006)

T4- Cd 15 ppm Dosis altamente tóxica. (Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006)

T5- Pb 20 ppm Dosis baja no tóxica, inferior a la media en suelos locales (Myung 1996; Evangelou et al., 2006).

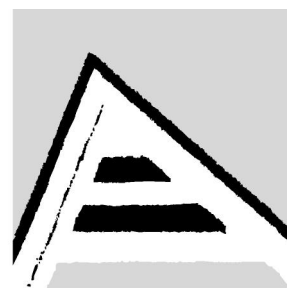
T6- Pb 100 ppm Dosis media en relación con los contenidos en suelos no contaminados (Myung 1996; Evangelou et al., 2006).

T7- Pb 200 ppm Dosis alta (Myung 1996; Evangelou et al., 2006).

T8- Cd 2 ppm y Pb 20 ppm

T9- Cd 2 ppm y Pb 100 ppm

T10- Cd 2 ppm y Pb 200 ppm



T11- Cd 5 ppm y Pb 20 ppm
T12- Cd 5 ppm y Pb 100 ppm
T13- Cd 5 ppm y Pb 200 ppm
T14- Cd 15 ppm y Pb 20 ppm
T15- Cd 15 ppm y Pb 100 ppm
T16- Cd 15 ppm y Pb 200 ppm

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Se prepararon disoluciones de Cadmio de 2, 5 y 15 ppm (mg/L) y de Plomo de 20, 100 y 200 ppm (mg/L). Los portadores utilizados fueron el $\text{PbAc}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y CdSO_4 . Se le adicionó EDTA, formando así portadores en forma de quelato.

Durante todo el experimento se aplicó un litro de disolución del metal pesado. Al finalizar el experimento, cada planta recibió 0, 2, 5 ó 15 mg de Cadmio y/o 0, 20, 100 ó 200 mg de Plomo. Se tomaron dos plantas completas por tratamiento para el estudio de la dinámica de asimilación de estos elementos. Las plantas fueron alimentadas artificialmente utilizando como medio de cultivo (Anexo 03) el MS (Murashige and Skoog, 1962).

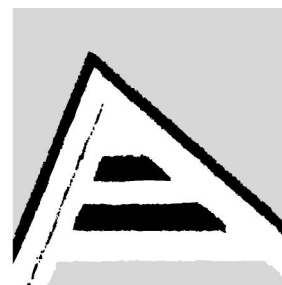
Metodología utilizada para la caracterización química del sustrato. Los análisis químicos y físico-químicos del suelo, fueron realizados en el Laboratorio de suelos del MINAGRI y en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Pinar del Río. Se realizaron análisis de macro y micronutrientes en la Empresa Central de Laboratorios "JOSÉ ISAAC DEL CORRAL" en Ciudad de la Habana. Todos estos análisis se realizaron aplicando las metodologías establecidas por MINAGRI (1994) y Ansorena (1994).

Estudio de las características morfológicas de las plantas.

Determinación de los parámetros morfológicos. Altura.

Se midió la altura desde la superficie del suelo hasta el extremo de la yema apical. La lectura final se realizó a los 70 días de la plantación

Diámetro del cuello de la raíz (DCR).



Para medir el diámetro se utilizó un pie de Rey

Masa seca aérea (MSA), Masa seca radical (MSR)

La masa seca aérea es la masa del tallo más

total comprende la masa seca aérea más la

obtuvieron en el laboratorio de conservación de suelo con una balanza analítica de error

de 0.1 mg. Para el secado de las muestras se utilizó la estufa, a 75°C, inicialmente por una hora y después a 45°C por 48 horas hasta peso constante.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Área foliar. (cm²).

La determinación del área foliar se realizó utilizando el método gravimétrico y aplicando la siguiente fórmula:

$$Af = \frac{1dm^2 * Pf}{Pp} \quad (3)$$

Donde:

Pf = Peso de la forma de la hoja (g).

Pp = peso del decímetro cuadrado (g).

Índices morfológicos.

Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR).

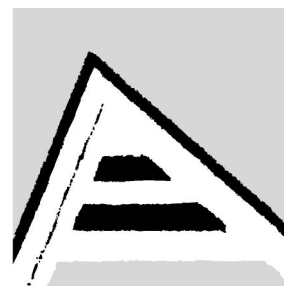
Es la producción de materia seca concentrada en las raíces respecto al total de la planta, se determina:

$$PA/PR = \left(\frac{\text{masa_seca_del_tallo} + \text{masa_seca_de_la_hoja}}{\text{masa_seca_de_la_raíz}} \right)$$

Índices del crecimiento.

Tasa de asimilación neta (TAN) (g.cm⁻².día⁻¹).

La (TAN) es la producción de la materia seca determinada por el balance entre la fotosíntesis y la respiración, que cuantifica la biomasa producida por la superficie



fotosintetizadora por unidad de tiempo, utilizando

$$TAN = \frac{2(P_2 - P_1)}{(A_1 + A_2)(t_2 - t_1)}$$

(4) Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Donde:

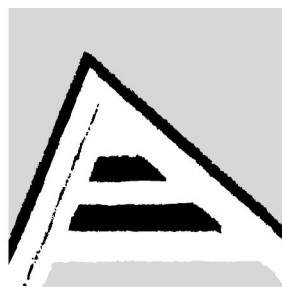
P_1 y P_2 = Peso seco medio.

A_1 y A_2 = Área foliar media.

t_1 y t_2 = Fechas en que se realizaron las determinaciones de área foliar.

Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico SPSS para Windows Versión 10 de diciembre 2001 (SPSS 10.0).



Resultados y discusión

A continuación se discute la influencia de algunos parámetros morfológicos y fisiológicos. En la Tabla 5.5 se resumen los parámetros de producción de masa seca y contenido total de c

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.5.- Indicadores morfológicos y fisiológicos de la planta de tabaco.

Tratamientos	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	m (g) Raíz	m (g) Tallo	m (g) Hojas	m (g) Total	Clorofila Total mg/g m(seca)
Cd 0 Pb 0	66,9a	183,1a	16,0a	23,6 ^a	34,9 ^a	74,5a	22,9a
Cd 2 Pb 0	65,9ab	174,0b	15,6ab	22,3b	32,0c	69,9b	21,4b
Cd 5 Pb 0	64,2c	155,6d	15,1bc	21,4cd	31,1c	67,6c	17,4e
Cd 15 Pb 0	55,3i	132,4f	14,0d	19,3f	25,5e	58,8f	13,7g
Cd 0 Pb 20	65,6b	164,7c	15,4abc	21,6c	33,4b	70,3b	22,8a
Cd 0 Pb 100	63,1d	139,5e	14,9bc	21,1cde	31,5c	67,5c	22,0b
Cd 0 Pb 200	62,0de	123,5g	12,8e	20,7de	29,4d	62,9e	20,5c
Cd 2 Pb 20	64,2c	137,7e	14,6cd	20,7de	30,0d	65,3d	21,5b
Cd 2 Pb 100	61,9ef	130,4f	12,9e	20,7de	29,5d	63,1e	19,8d
Cd 2 Pb 200	60,8fg	120,9g	12,5e	20,5e	25,5e	58,5f	17,7e
Cd 5 Pb 20	60,3gh	122,1g	12,6e	18,8f	24,5ef	55,9g	17,3e
Cd 5 Pb 100	59,7gh	116,7h	11,3f	16,6g	23,6f	51,5h	15,7f
Cd 5 Pb 200	59,4h	102,9i	11,0fg	15,6h	23,5f	50,1h	15,7f
Cd 15 Pb 20	57,1i	103,9i	11,2f	12,8i	20,8g	44,8i	13,6gh
Cd 15 Pb 100	54,3j	97,5j	10,3g	12,4i	19,6h	42,3j	13,0h
Cd 15 Pb 200	52,5k	87,5k	10,4g	11,5j	16,8i	38,7kl	11,2i
Std. Dev	4,32	27,02	2,06	3,75	5,26	10,60	3,74
Std. Error	0,34	2,14	0,16	0,30	0,42	0,84	0,30

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan.

Resulta evidente como un incremento en los niveles de cadmio produce un mayor efecto en el parámetro estudiado que el incremento en los niveles de Plomo. Un análisis más detallado se realiza a continuación.

En la Figura 5.1 se aprecia como a medida que se incrementa el contenido de Cadmio (0 ppm, 2 ppm, 5 ppm y 15 ppm) la altura de las plantas disminuye significativamente, fundamentalmente en los tratamientos con 5 y 15 ppm respectivamente. Se conoce de la elevada fitotoxicidad de este elemento, el cual incide negativamente en el crecimiento



de la raíz, además de provocar aberraciones en
Fojta et al., 2006). En el tratamiento con 2 ppm
significativas con el testigo, lo que por
concentraciones, este elemento no resulta tóxico
fueron obtenidos por Vogeli-Lange y Wagner,
al., (2006).

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

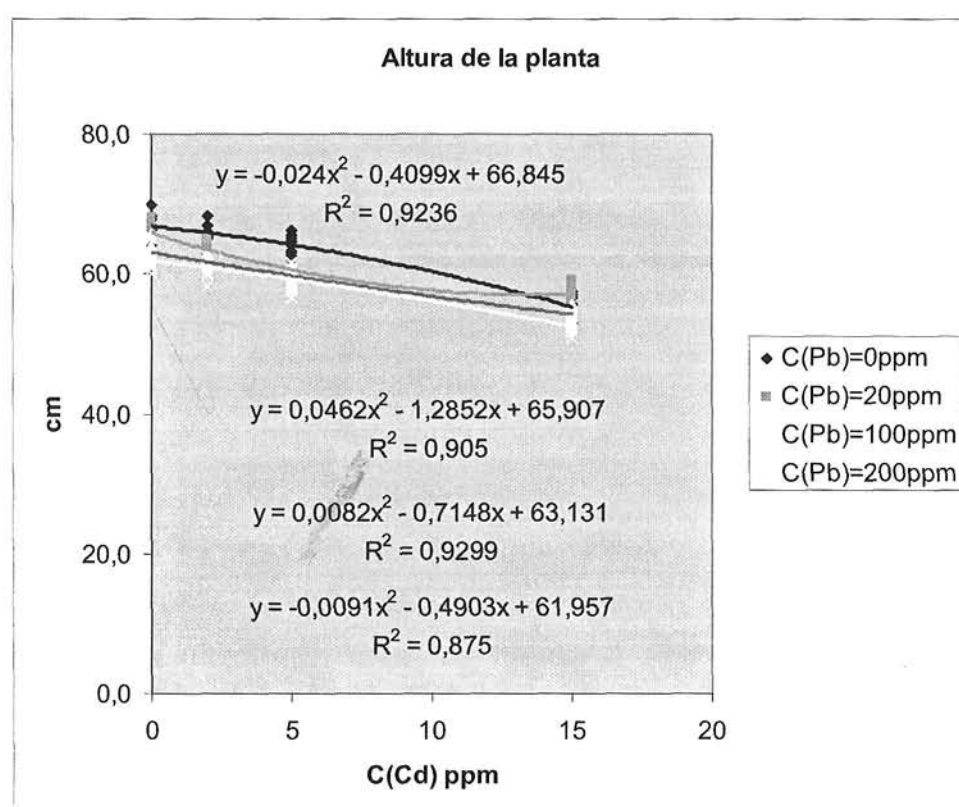
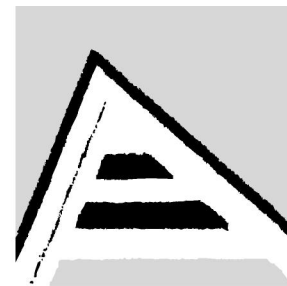


Figura 5.1 Influencia de diferentes niveles de Cd en el crecimiento de la planta.

Se realizó un análisis de regresión, relacionando el crecimiento de la planta con la concentración de Cadmio en el sustrato. Se encontró que la ecuación que más se ajustaba era una ecuación de segundo grado, siendo los coeficientes de regresión superiores a 0,9, excepto en el tratamiento de Cadmio con 200 ppm de Plomo.

En relación con el resto de las variables estudiadas, Área foliar, masa seca de las diferentes partes de la planta, se observa un comportamiento similar al analizado en



relación con la altura. El análisis de regresión n
la ecuación que mas se ajustaba era una ecu
de regresión relativamente elevados.

Universitat d'Alacant

En la Figura 5.2 se muestra como un increm
área foliar de la planta. Se aprecia una disminución significativa del área foliar con el
incremento de la concentración de Cadmio en el sustrato.

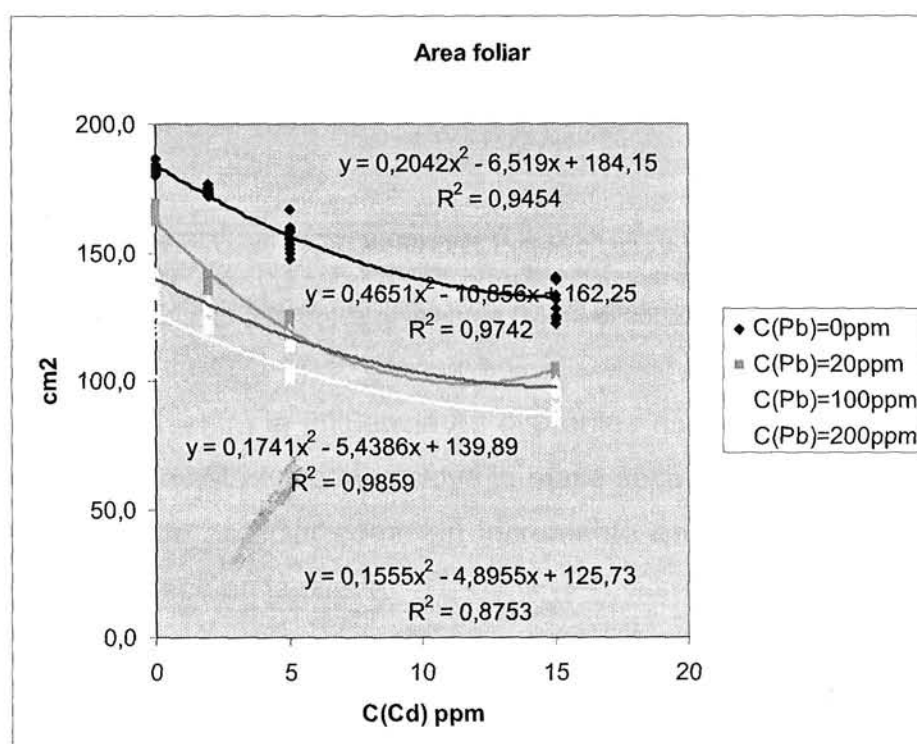


Figura 5.2 Influencia de diferentes niveles de Cd en el Área foliar de la planta.

La influencia del Plomo será analizada más adelante, pero resulta evidente, del análisis de la figura anterior, como la presencia de este elemento incide en el área foliar de la planta.

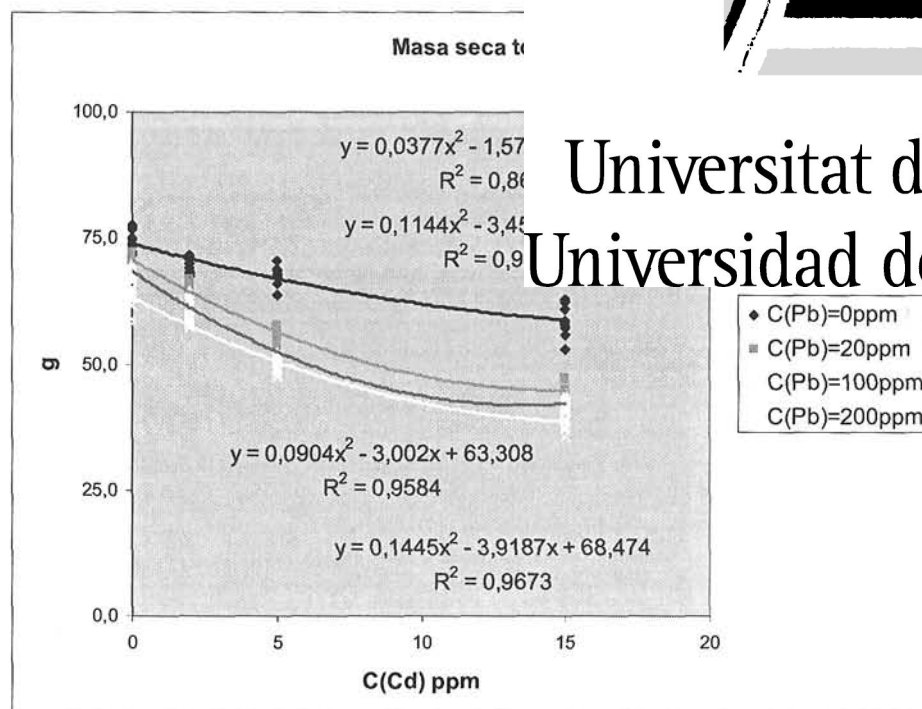
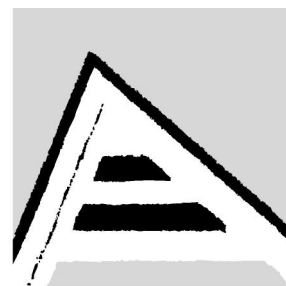


Figura 5.3 Influencia de diferentes niveles de Cd en el contenido total de masa seca.

En la Figura 5.3 se muestra la influencia de diferentes niveles de Cd en la producción de masa seca total. En este caso se incluye la masa seca de la raíz, el tallo y las hojas de la planta. Se puede apreciar como un incremento en los niveles de Cd afecta la producción de masa seca en la planta

De igual forma, en la Figura 5.4 se muestra la influencia del incremento de los niveles de Cadmio en el sustrato con la producción de clorofila por la planta. Se aprecia como la producción de clorofila de la planta no se afecta cuando se aplican 20 ppm de Plomo, es decir, no existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento con 20 ppm de Pb. Las ecuaciones de regresión obtenidas prácticamente no difieren entre si.

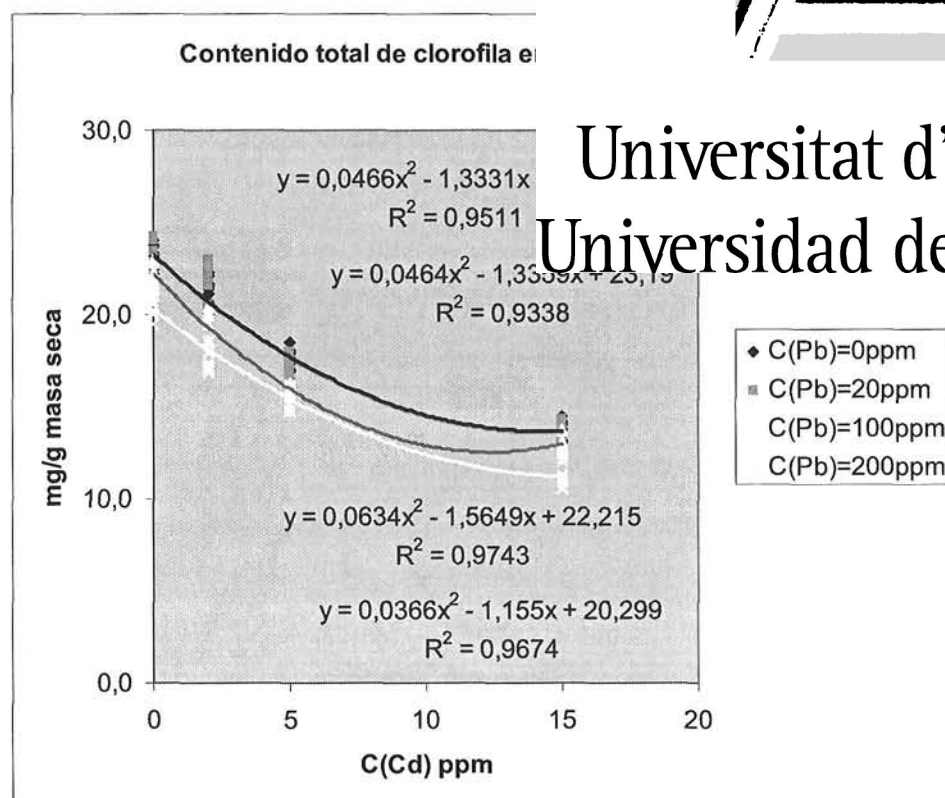
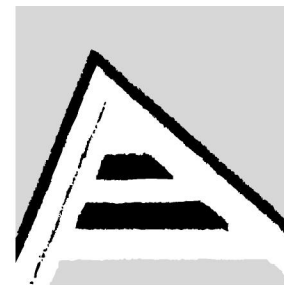
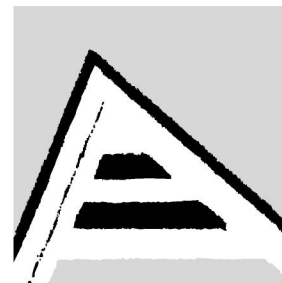


Figura 5.4 Contenido total de clorofila para diferentes niveles de Cd.

Este comportamiento es diferente cuando se mantienen constantes las concentraciones de Cadmio y se varía la concentración de Plomo en la solución nutritiva. En estos casos los coeficientes de regresión son significativamente inferiores. Se muestran las ecuaciones y coeficientes de regresión respectivos. Los coeficientes de regresión en los experimentos donde se estudia la influencia del Pb fueron marcadamente más bajos, debido al efecto tóxico del Cadmio, entre otros factores.

A analizar la influencia del Plomo en la altura de la planta, manteniendo constante los niveles de Cadmio se aprecia un comportamiento diferente, notándose una influencia mas marcada de los niveles constantes de Cd que la variabilidad del Pb. En la Figura 5.5 se puede apreciar este efecto.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

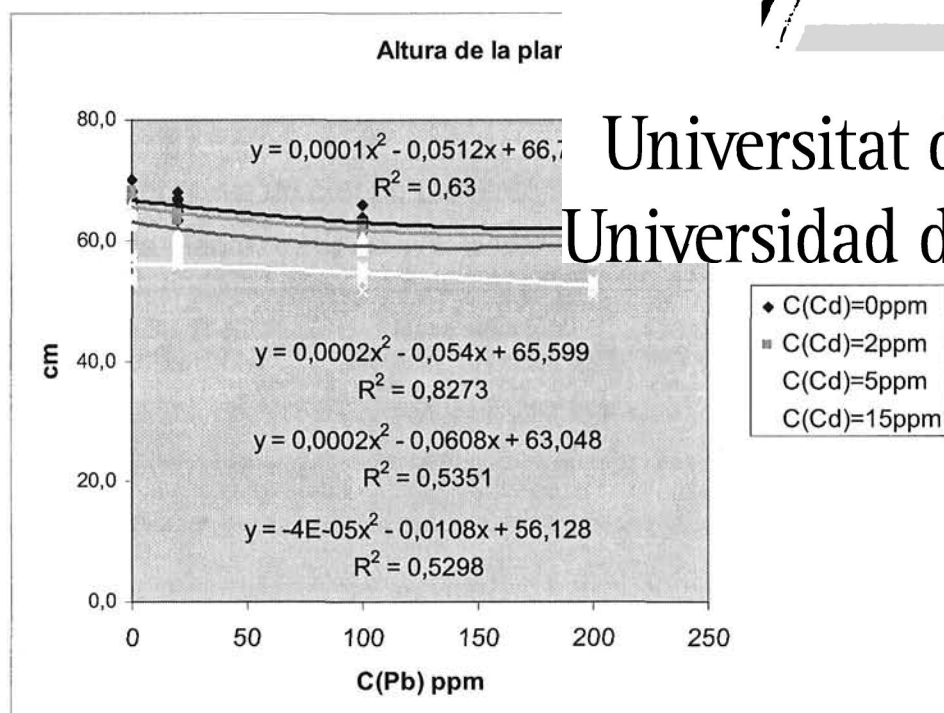


Figura 5.5 Influencia de diferentes niveles de Pb en el crecimiento de la planta.

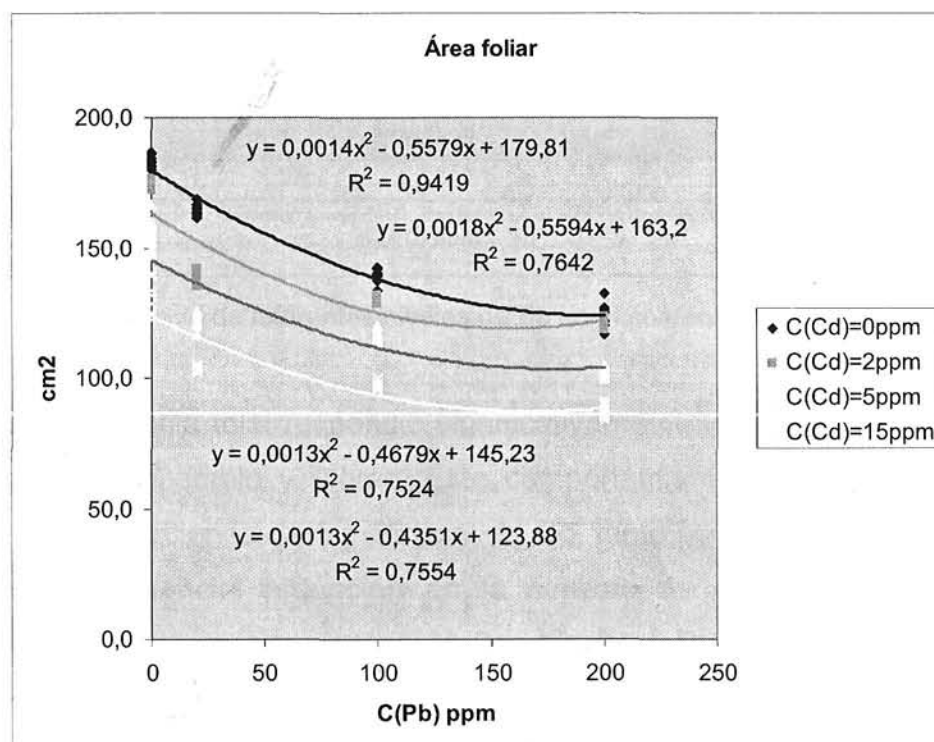
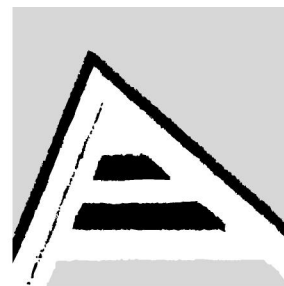


Figura 5.6 Influencia de diferentes niveles de Pb en el área foliar de la planta.



En la Figura 5.6 se puede apreciar como ambos de Pb influyen en el desarrollo foliar de la planta.

En la Figura 5.7 se observa un comportamiento masa seca total de la planta.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

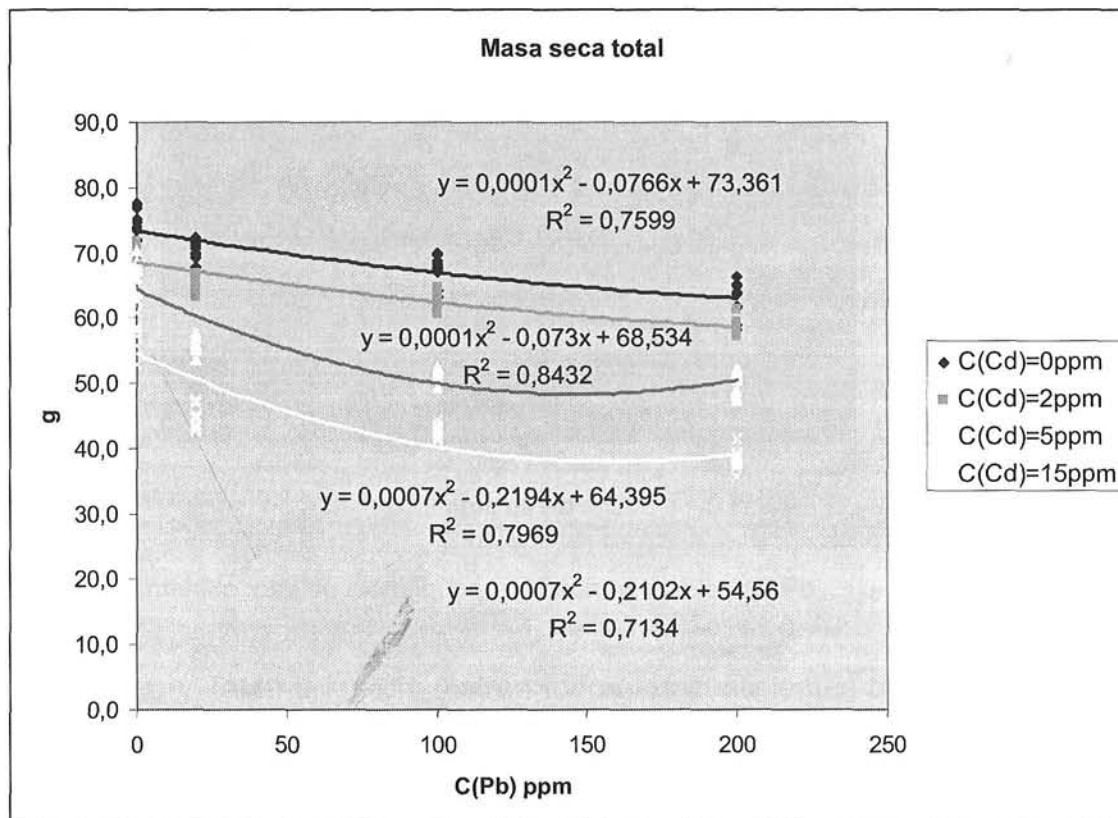


Figura 5.7 Influencia de diferentes niveles de Pb en el contenido total de masa seca.

El contenido de clorofila total respondió significativamente a la aplicación de diferentes concentraciones de Cadmio y Plomo. Este comportamiento se puede apreciar en la Figura 5.8. Las aplicaciones de 5 y 15 ppm de Cd, tanto solo como asociado al Plomo, produjeron una sustancial reducción en la síntesis de clorofila por la planta. La presencia de metales pesados como el Cadmio y el Plomo inducen una marcada disminución en el contenido total de clorofila. Este comportamiento fue explicado por Larsson et al., (1998) y Shevchenko et al., (2004) los cuales concluyeron que se producía debido fundamentalmente a la degradación de la clorofila a.

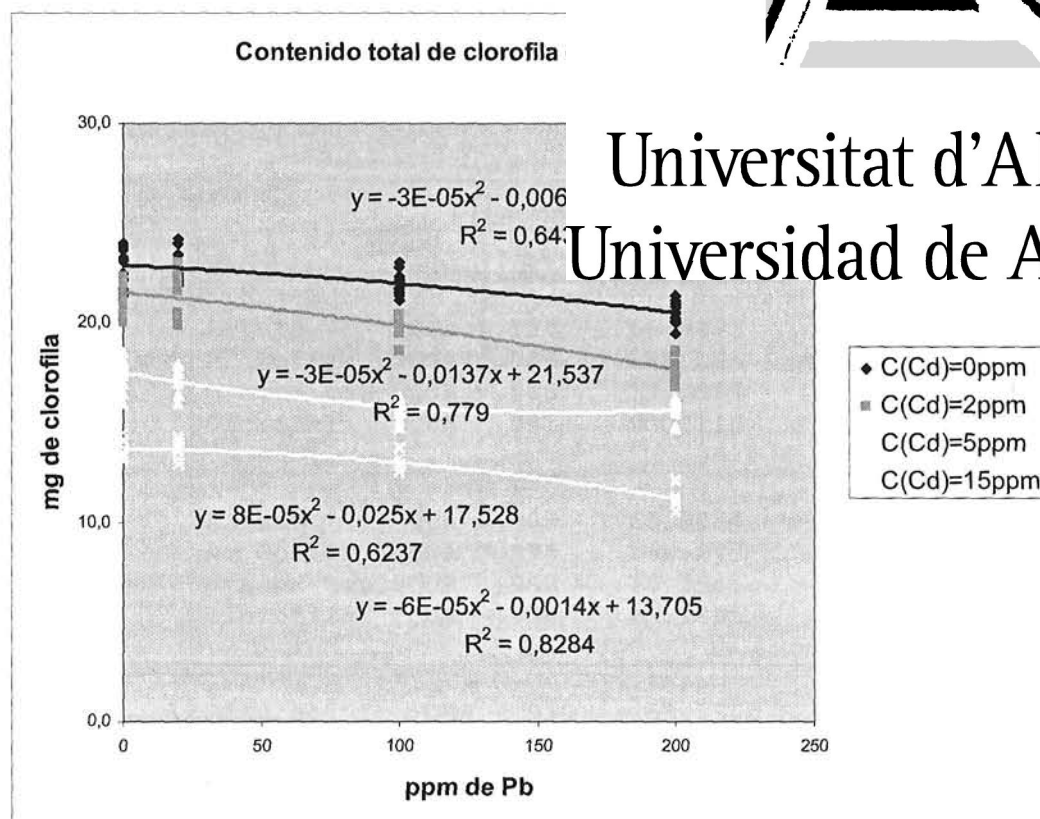
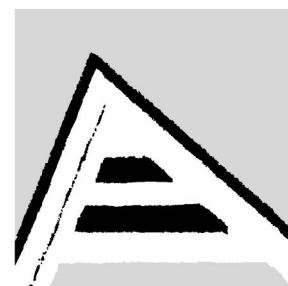


Figura 5.8 Contenido total de clorofila para diferentes niveles de Pb

En la Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se muestran todos los coeficientes de regresión, así como los coeficientes de las ecuaciones obtenidas para cada tratamiento. En todos los casos la ecuación que mas se ajustaba era una ecuación de segundo grado.

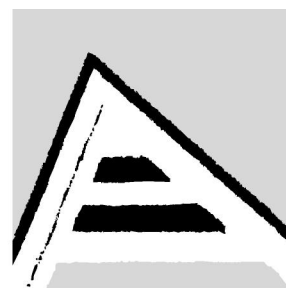


Tabla 5.6 Coeficientes de regresión y ecuaciones manteniendo constante la concentración de Pb y var

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tratamiento	Ecuación					
Cadmio	Variable	Mth	R ²			
Pb 0 ppm	Altura	QUA	,924	66,8446	-,4099	-,0240
	A. Foliar	QUA	,945	184,145	-6,5190	,2042
	M seca tot.	QUA	,868	73,9318	-1,5747	,0377
	Clorofila	QUA	,951	23,2115	-1,3331	,0466
Pb 20 ppm	Altura	QUA	,905	65,9074	-1,2852	,0462
	A. Foliar	QUA	,974	162,247	-10,856	,4651
	M seca tot.	QUA	,982	70,7945	-3,4519	,1144
	Clorofila	QUA	,934	23,1895	-1,3359	,0464
Pb 100 ppm	Altura	QUA	,930	63,1305	-,7148	,0082
	A. Foliar	QUA	,986	139,886	-5,4386	,1741
	M seca tot.	QUA	,967	68,4745	-3,9187	,1445
	Clorofila	QUA	,974	22,2148	-1,5649	,0634
Pb 200 ppm	Altura	QUA	,875	61,9572	-,4903	-,0091
	A. Foliar	QUA	,875	125,731	-4,8955	,1555
	M seca tot.	QUA	,958	63,3082	-3,0020	,0904
	Clorofila	QUA	,967	20,2986	-1,1550	,0366

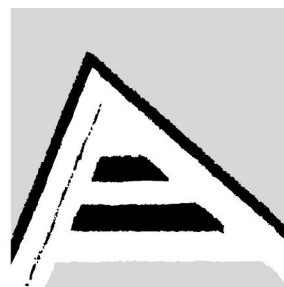
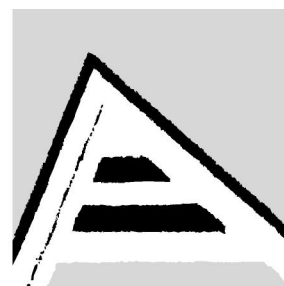


Tabla 5.7 Coeficientes de regresión y ecuaciones (manteniendo constante la concentración de Cd y variar

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tratamiento	Ecuación Y:					
Plomo	Variable	Mth	R ²			
Cd 0 ppm	Altura	QUA	,630	66,7267	-,0512	,0001
	A. Foliar	QUA	,942	179,807	-,5579	,0014
	M seca tot.	QUA	,760	73,3606	-,0766	,0001
	Clorofila	QUA	,644	22,8982	-,0064	-3,E-05
Cd 2 ppm	Altura	QUA	,827	65,5990	-,0540	,0002
	A. Foliar	QUA	,764	163,201	-,5594	,0018
	M seca tot.	QUA	,843	68,5340	-,0730	,0001
	Clorofila	QUA	,779	21,5366	-,0137	-3,E-05
Cd 5 ppm	Altura	QUA	,535	63,0483	-,0608	,0002
	A. Foliar	QUA	,752	145,231	-,4679	,0013
	M seca tot.	QUA	,797	64,3949	-,2194	,0007
	Clorofila	QUA	,624	17,5277	-,0250	7,8E-05
Cd 15ppm	Altura	QUA	,530	56,1275	-,0108	-4,E-05
	A. Foliar	QUA	,755	123,883	-,4351	,0013
	M seca tot.	QUA	,713	54,5605	-,2102	,0007
	Clorofila	QUA	,828	13,7049	-,0014	-6,E-05



Estudio de la acumulación de Cadmio y Plc

En la Tabla 5.8 se muestran los contenidos partes de la planta de tabaco, considerando

de este metal pesado. Los resultados mu

aumento de los niveles de Cadmio en el sustrato, aumentando la asimilación de este elemento en las diferentes partes de la planta. Resulta significativo que la mayor parte del Cadmio se acumula en la raíz y en las hojas inferiores de la planta, es decir en la Libre pie y en el Uno y medio, no obstante se determina en toda la planta. El Cadmio, similar al Zinc, es un elemento que puede ser rápidamente asimilado por la planta pudiéndose encontrar cantidades relativamente altas de este elemento en la misma (Angelova et al., 2004)

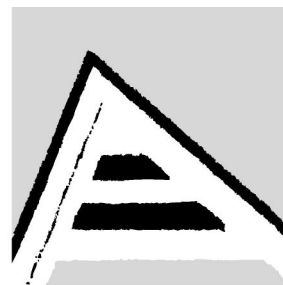
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.8 Contenidos de Cd en las diferentes partes de la planta de tabaco.

C(Pb) ppm	C(Cd) ppm	Raíz mg/kg	Tallo mg/kg	Libre pie mg/kg	Uno y medio mg/kg	Centro mg/kg	Corona mg/kg
0 ppm	0	0,09d	0,06c	0,09d	0,08d	0,06d	0,05d
	2	6,49c	7,25b	20,35c	6,35c	4,30c	3,10c
	5	14,60b	7,75b	41,25b	13,65b	5,20b	3,80b
	15	21,55a	11,10a	69,90a	22,05a	11,05a	7,55a
20 ppm	0	0,09d	0,06d	0,09d	0,09d	0,06d	0,06d
	2	6,90c	7,35c	21,00c	7,53c	4,85c	3,65c
	5	15,00b	8,10b	42,08b	14,70b	5,93b	4,08b
	15	20,78a	11,23a	71,70a	23,25a	10,35a	7,73a
100 ppm	0	0,08d	0,06d	0,09d	0,09d	0,06d	0,05c
	2	7,35c	6,75c	21,20c	6,95c	5,20c	3,90b
	5	14,63b	8,05b	42,95b	13,80b	6,15b	4,28b
	15	20,78a	11,55a	71,18a	21,80a	10,80a	7,30a
200 ppm	0	0,09d	0,06d	0,09d	0,08d	0,06c	0,05d
	2	7,20c	2,90c	31,50c	7,05c	5,70b	3,40c
	5	15,00b	7,90b	43,68b	14,00b	6,30b	4,10b
	15	20,98a	12,05a	71,70a	22,65a	11,00a	7,55a

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan.

Se realizó un análisis de regresión a partir de las cantidades de cadmio suministradas en la solución nutritiva y la presencia de este elemento en las diferentes partes de la planta. Se encontró que la ecuación que mejor ajustaba es una ecuación de segundo



grado del tipo $Y = aX^2 + bX + c$, obteniéndose 0,9. Resultados similares fueron encontrados:

En la Figura 5.9 se observan las curvas de regresión para este experimento. Se obtuvieron de Plomo de 20, 100 y 200 ppm

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

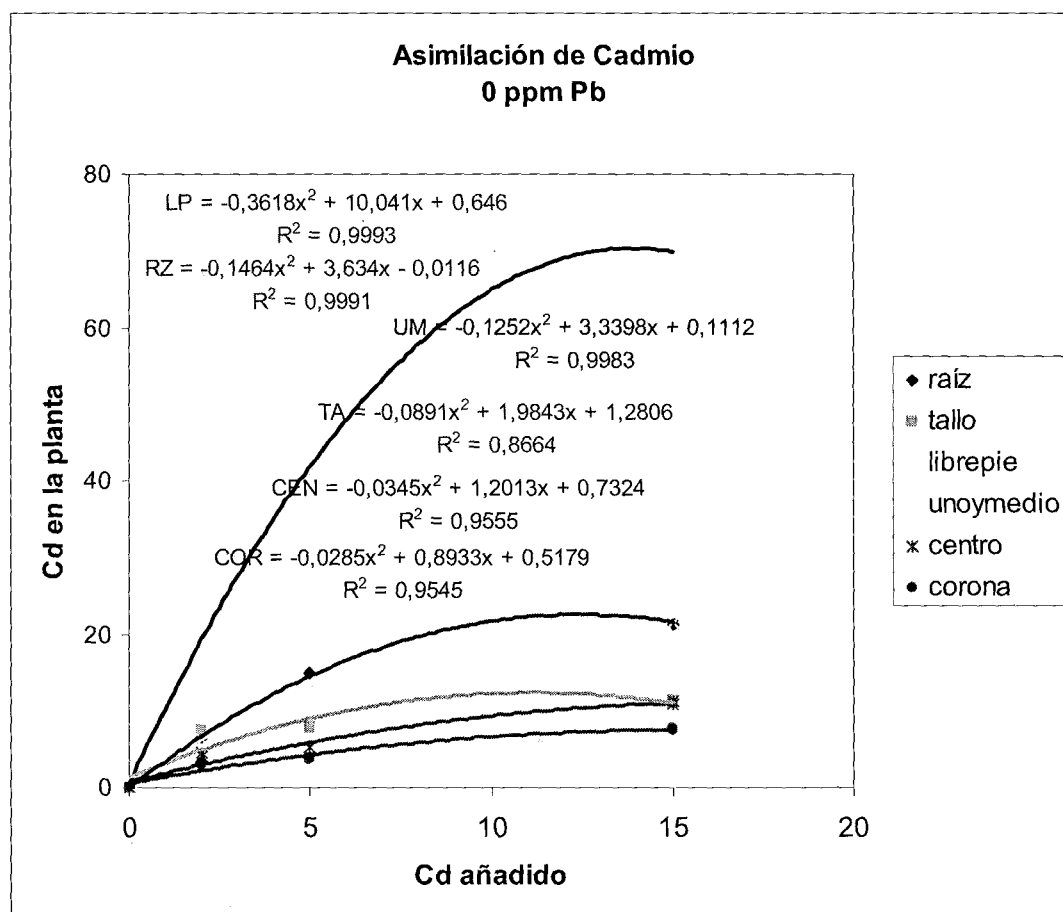
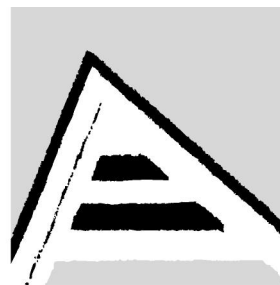


Figura 5.9 Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 0 ppm de Plomo en el sustrato

Los gráficos obtenidos para concentraciones de Plomo de 20, 100 y 200 ppm tienen características similares y se muestran en el Anexo 04.

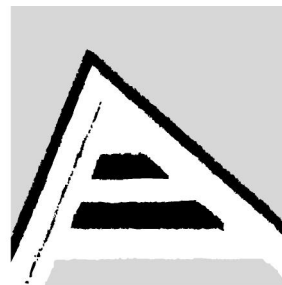


Los coeficientes de regresión y los coeficientes de segundo grado obtenidas se muestran en la Tabla 5.9 que en todos los casos se obtienen coeficientes de respuesta de la planta al incremento, en este caso

Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

Tabla 5.9 Coeficientes de regresión y ecuaciones de regresión para las variables estudiadas, manteniendo constante la concentración de Pb y variando las concentraciones de Cd.

Tratamiento	Ecuación $Y=b_2X^2 + b_1X + b_0$					
Cadmio	Variable	Mth	R ²	b0	b1	b2
Pb 0 ppm	A_RAIZ	QUA	,999	-,0116	3,6340	-,1464
	A_TALLO	QUA	,866	1,2806	1,9843	-,0891
	A_LIBREP	QUA	,999	,6460	10,0410	-,3618
	A_UNYMED	QUA	,998	,1112	3,3398	-,1252
	A_CENTRO	QUA	,956	,7324	1,2013	-,0345
	A_CORONA	QUA	,955	,5179	,8933	-,0285
Pb 20 ppm	B_RAIZ	QUA	,999	,0510	3,7821	-,1600
	B_TALLO	QUA	,877	1,2588	2,0829	-,0950
	B_LIBREP	QUA	,999	,7448	10,2320	-,3670
	B_UNYMED	QUA	,998	,3435	3,6216	-,1397
	B_CENTRO	QUA	,939	,7813	1,4439	-,0540
	B_CORONA	QUA	,927	,6657	,9723	-,0337
Pb 100 ppm	C_RAIZ	QUA	,998	,2560	3,6815	-,1543
	C_TALLO	QUA	,914	1,0655	2,0516	-,0905
	C_LIBREP	QUA	,999	,6517	10,5087	-,3873
	C_UNYMED	QUA	,999	,2879	3,3979	-,1310
	C_CENTRO	QUA	,933	,8659	1,4994	-,0561
	C_CORONA	QUA	,906	,7051	1,0493	-,0409
Pb 200 ppm	D_RAIZ	QUA	,999	,1507	3,7805	-,1595
	D_TALLO	QUA	,995	-,1994	1,9445	-,0751
	D_LIBREP	QUA	,967	4,0042	10,8290	-,4224
	D_UNYMED	QUA	,999	,2939	3,4313	-,1295
	D_CENTRO	QUA	,912	1,0109	1,5430	-,0588
	D_CORONA	QUA	,943	,5664	,9851	-,0348



En la Tabla 5.10 se muestran los contenidos de partes de la planta de tabaco, considerando 4 niveles de este metal pesado. Los resultados muestran que a medida que aumentan los niveles de Plomo en el sustrato, aumentan los contenidos en las diferentes partes de la planta, sin embargo es

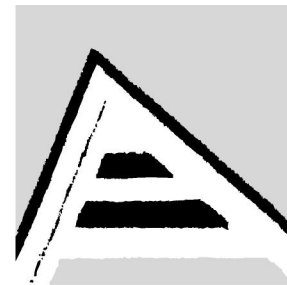
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

se compara con las cantidades de plomo suministradas en la solución nutritiva. Estos resultados se corresponden con lo planteado por Kabata Pendias, (1984) y Angelova et al., (2004). Según estos autores, solo pequeñas cantidades del Plomo total presente en el sustrato es asimilado por las plantas y su traslocación desde las raíces hasta las hojas superiores es generalmente limitada.

Tabla 5.10 Contenidos de Pb en las diferentes partes de la planta de tabaco.

C(Cd) ppm	C(Pb) ppm	Raíz mg/kg	Tallo mg/kg	Libre pie mg/kg	Uno y medio mg/kg	Centro mg/kg	Corona mg/kg
0 ppm	0	1,35d	0,48d	1,63d	0,85d	0,17d	0,07d
	20	20,25c	15,50c	26,85c	9,95c	9,20c	8,30c
	100	50,05b	26,35b	63,40b	25,60b	17,75b	15,35b
	200	55,60a	28,10a	69,45a	27,10a	19,45a	16,75a
2 ppm	0	1,39d	0,49d	1,68d	0,88d	0,17c	0,07d
	20	18,85c	15,30c	24,30c	12,75c	10,40b	6,50c
	100	47,10b	27,45b	65,10b	26,45b	15,25a	10,20b
	200	56,08a	28,88a	71,75a	27,98a	15,50a	11,35a
5 ppm	0	1,55d	0,54d	1,65d	1,15d	0,17c	0,07c
	20	17,40c	15,50c	25,75c	9,10c	10,25b	8,25b
	100	46,35b	27,35b	65,13b	26,98b	15,75a	10,53a
	200	56,10a	29,53a	70,68a	28,35a	15,65a	11,25a
15 ppm	0	1,60d	0,79d	1,68d	0,85d	0,17d	0,07d
	20	20,05c	16,50c	27,15c	11,00c	9,25c	6,35c
	100	47,20b	27,90b	65,95b	26,60b	15,55b	10,93b
	200	56,35a	29,45a	72,25a	28,55a	16,50a	11,50a

Se realizó un análisis de regresión a partir de las cantidades de Plomo suministradas en la solución nutritiva y la presencia de este elemento en las diferentes partes de la planta. Se encontró que la ecuación que mejor ajustaba es una ecuación de segundo grado del tipo $Y = aX^2 + bX + c$, obteniéndose coeficientes de regresión altos, pero inferiores a los obtenidos para el Cadmio. Estos resultados también concuerdan con los encontrados por Angelova et al. (2004).



En la Figura 5.10 se observan las curvas de regresión para este experimento. Se obtuvieron valores de Cadmio de 2, 5 y 15 ppm

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

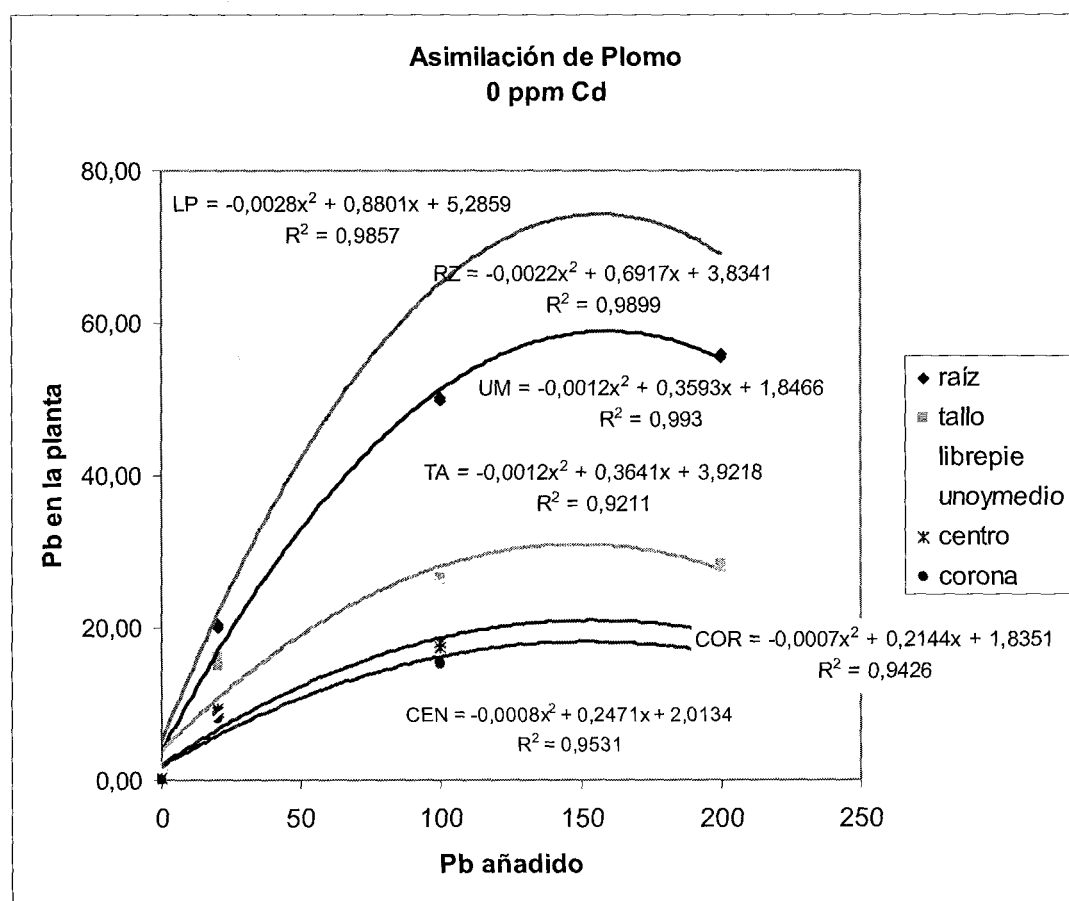
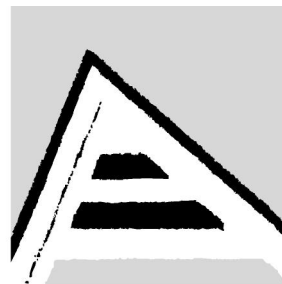


Figura 5.10 Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 0 ppm de Cadmio en el sustrato

Los gráficos obtenidos para concentraciones de Cadmio de 2, 5 y 15 ppm tienen características similares y se muestran en el Anexo 04.

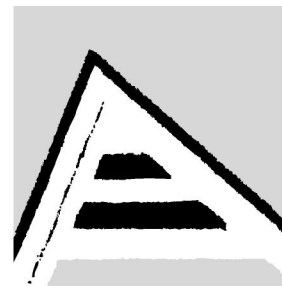


Los coeficientes de regresión y los coeficientes de segundo grado obtenidas se muestran en la Tabla 5.11. Se observa que en todos los casos se obtienen valores positivos, lo que indica la respuesta de la planta al incremento, en el caso de Plomo.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.11 Coeficientes de regresión y ecuaciones de regresión para las variables estudiadas, manteniendo constante la concentración de Cd y variando las concentraciones de Pb.

Tratamiento	Ecuación $Y=b_2X^2 + b_1X + b_0$					
Plomo	Variable	Mth	R ²	b0	b1	b2
Cd 0 ppm	A_RAIZ	QUA	,990	3,8341	,6917	-,0022
	A_TALLO	QUA	,921	3,9218	,3641	-,0012
	A_LIBREP	QUA	,986	5,2859	,8801	-,0028
	A_UNYMED	QUA	,993	1,8466	,3593	-,0012
	A_CENTRO	QUA	,953	2,0134	,2471	-,0008
	A_CORONA	QUA	,943	1,8351	,2144	-,0007
Cd 2 ppm	B_RAIZ	QUA	,991	3,7310	,6304	-,0018
	B_TALLO	QUA	,937	3,6997	,3830	-,0013
	B_LIBREP	QUA	,995	4,0242	,9077	-,0029
	B_UNYMED	QUA	,971	2,9796	,3666	-,0012
	B_CENTRO	QUA	,857	2,7932	,2133	-,0008
	B_CORONA	QUA	,894	1,6706	,1391	-,0005
Cd 5 ppm	C_RAIZ	QUA	,995	3,3282	,6153	-,0018
	C_TALLO	QUA	,933	3,8594	,3765	-,0013
	C_LIBREP	QUA	,991	4,5968	,9113	-,0029
	C_UNYMED	QUA	,999	1,3048	,3830	-,0012
	C_CENTRO	QUA	,877	2,6514	,2232	-,0008
	C_CORONA	QUA	,783	2,3778	,1430	-,0005
Cd 15ppm	D_RAIZ	QUA	,987	4,3914	,6258	-,0018
	D_TALLO	QUA	,921	4,3740	,3830	-,0013
	D_LIBREP	QUA	,988	5,1488	,9172	-,0029
	D_UNYMED	QUA	,990	2,4034	,3664	-,0012
	D_CENTRO	QUA	,915	2,2806	,2166	-,0007
	D_CORONA	QUA	,922	1,4969	,1537	-,0005

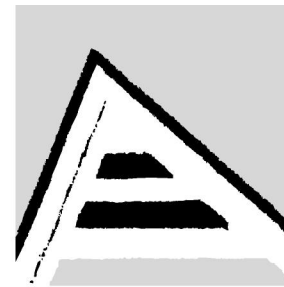


En relación con lo expuesto anteriormente, la propiedad de acumular Cadmio, se han observado diferentes variedades de tabaco. Por ejemplo, las variedades de hoja grande tienen como característica de acumular grandes

bajas cantidades en las hojas, mientras que la *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora tanto en las hojas como en las raíces de la planta (Wagner et al., 1986). La variedad estudiada en este trabajo, *Criollo 98*, pertenece a la especie *Nicotiana tabacum*, lo que confirma los resultados experimentales obtenidos, considerando que los niveles de Cadmio encontrado en las raíces son tan elevados como los encontrados en las hojas basales de la planta.

A manera de resumen, a continuación se muestran los gráficos que ilustran la asimilación de Cadmio y Plomo por las diferentes partes de la planta. Resulta interesante resaltar lo que se aprecia en las Figuras 20 y 22. En ambos casos se muestra como un incremento en los niveles de Cadmio conduce a una disminución importante en los niveles de asimilación del Plomo en las hojas del Centro y la Corona, es decir, en estos casos resulta mucho más difícil que el Plomo alcance las hojas más altas en la planta.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

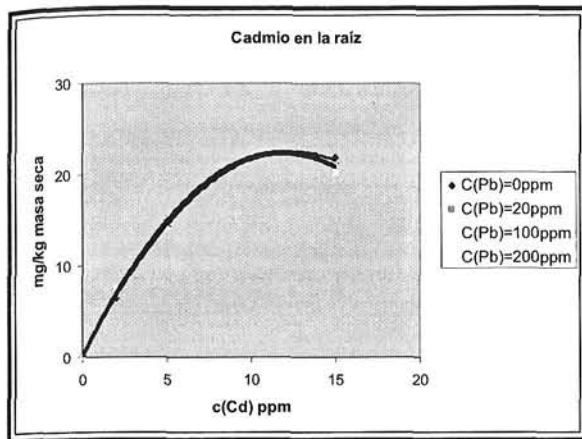


Figura 11 Cadmio en la Raíz

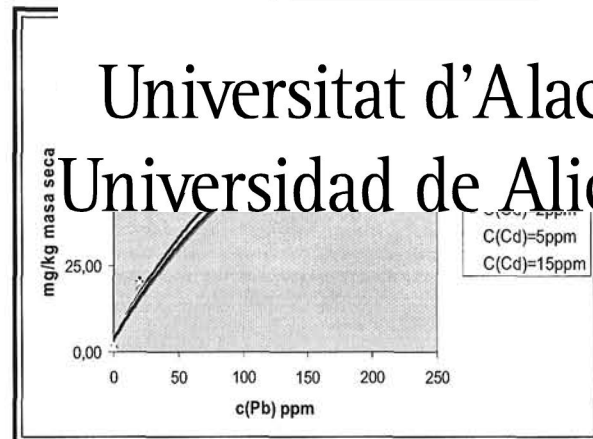


Figura 12 Plomo en la Raíz

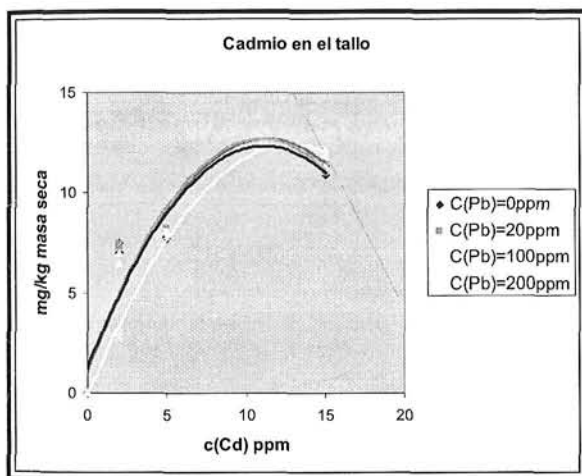


Figura 13 Cadmio en el Tallo

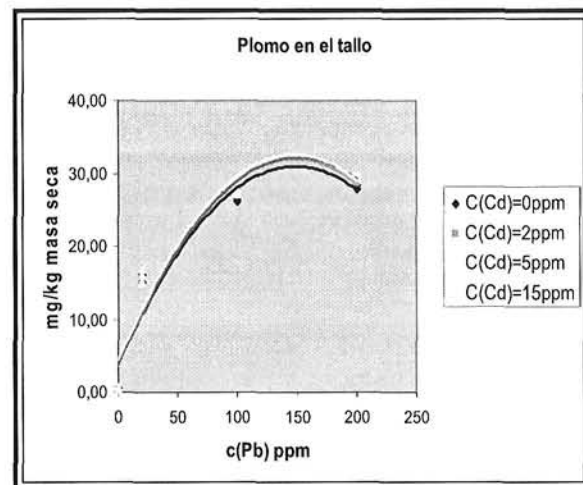


Figura 14 Plomo en el Tallo

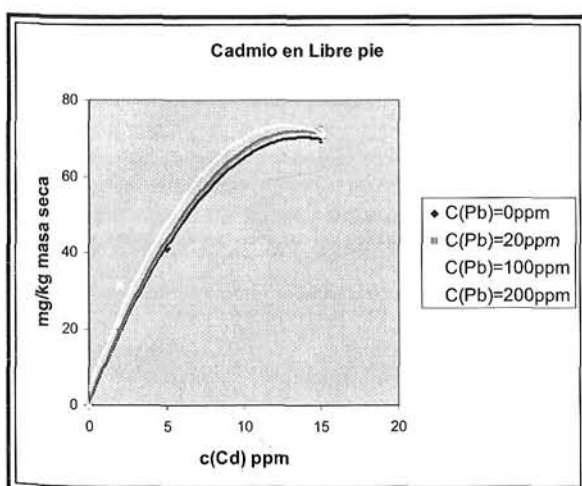


Figura 15 Cadmio en Libre pie

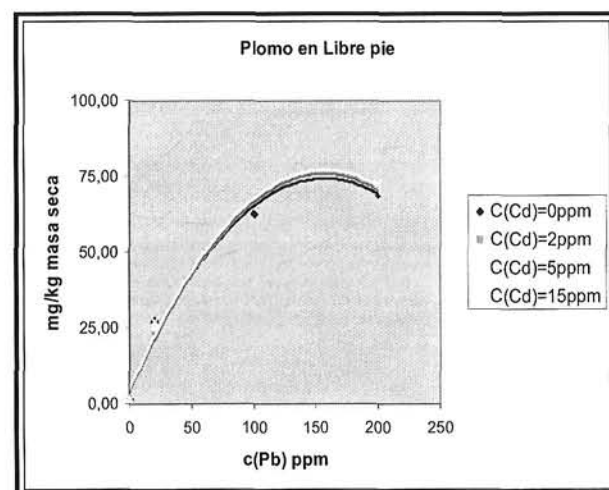
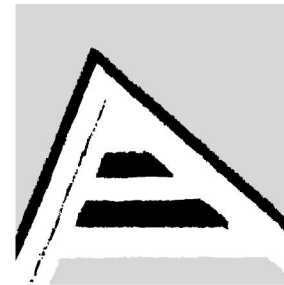


Figura 16 Plomo en Libre pie



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

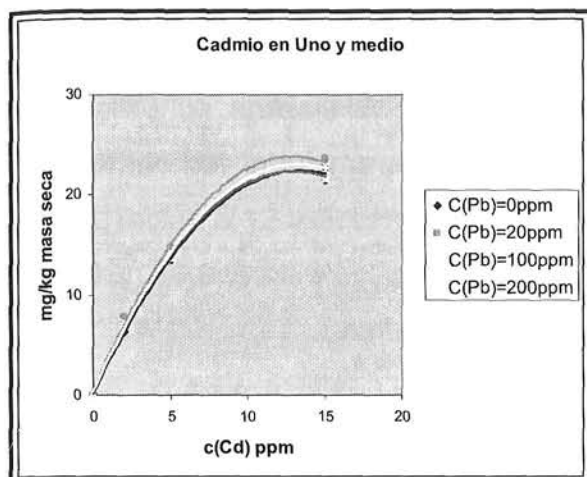


Figura 17 Cadmio en Uno y medio

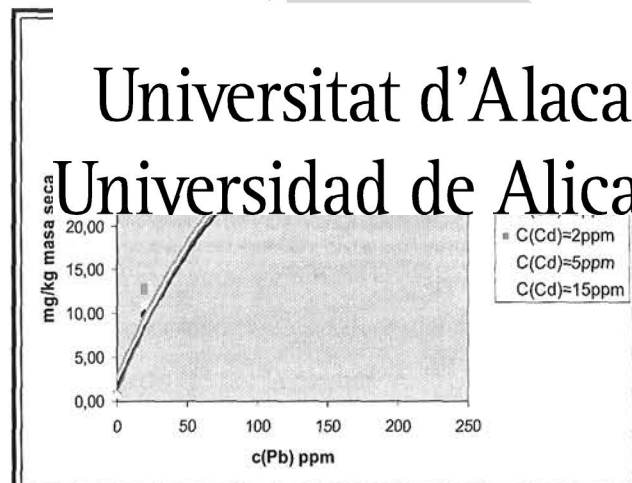


Figura 18 Plomo en Uno y medio

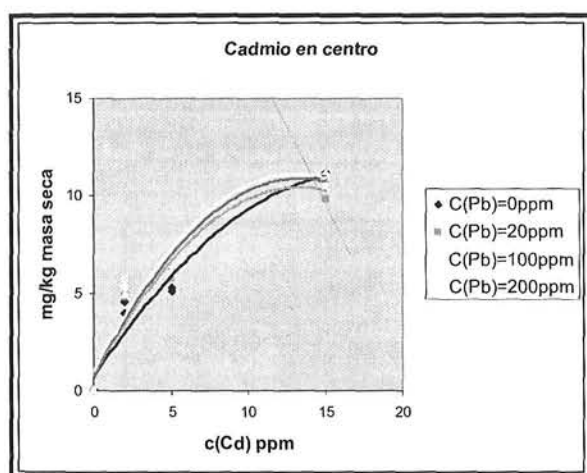


Figura 19 Cadmio en Centro

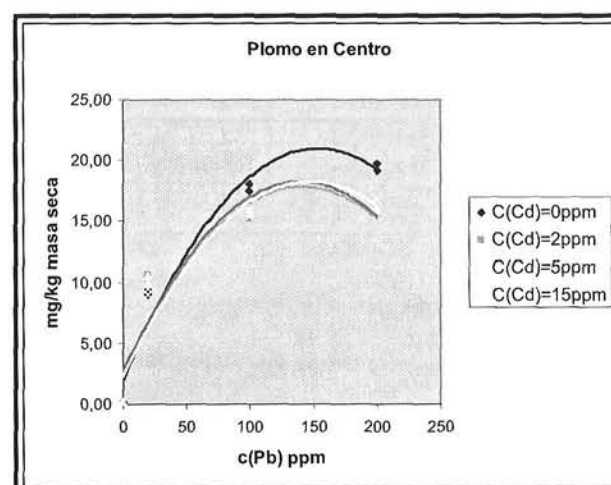


Figura 20 Plomo en Centro

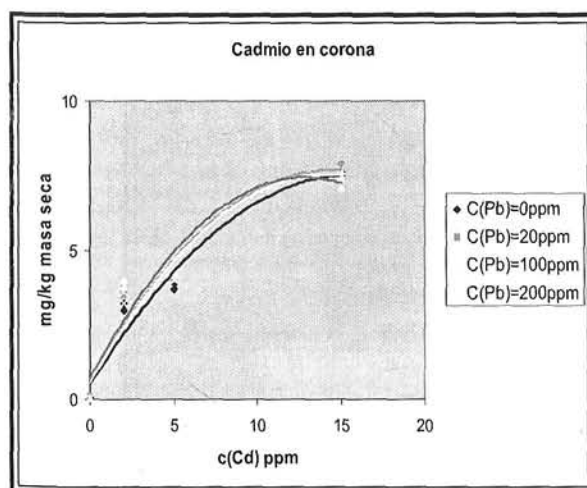


Figura 21 Cadmio en la Corona

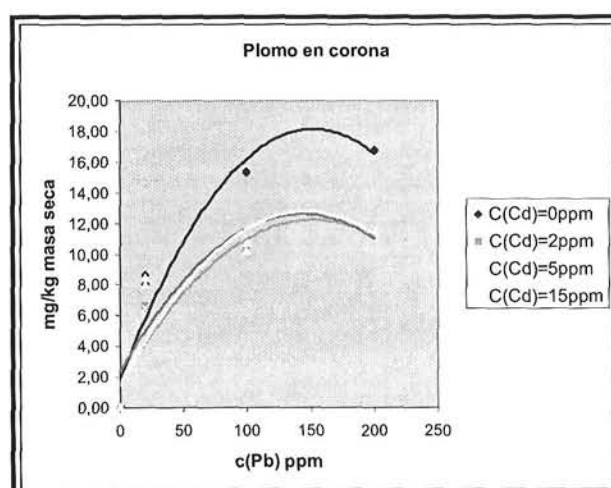
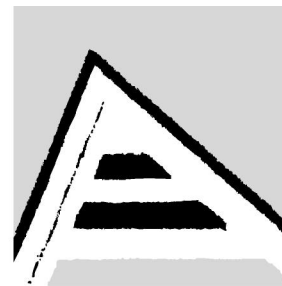


Figura 22 Plomo en la Corona



Extracción de Cadmio y Plomo por la variedad

Se realizó un análisis de la planta con vistas recuperado por la misma para los diferentes tratamientos en las Tablas 5.12 y 5.13 y en las Figuras 23 y 24. La mayor recuperación alcanzada fue de un 26,9 % para el Cd

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.12 Porcentaje de recuperación de Cd por la planta

m(Cd añadido) mg	Porcentaje de recuperación de Cadmio			
	Pb=0 ppm	Pb=20 ppm	Pb=100 ppm	Pb=200 ppm
2	26,92	25,48	24,32	20,96
2	26,34	25,54	23,20	21,90
5	17,42	13,95	12,11	12,96
5	17,15	13,50	13,01	13,00
15	8,44	5,97	5,68	4,88
15	8,01	5,73	5,57	5,13

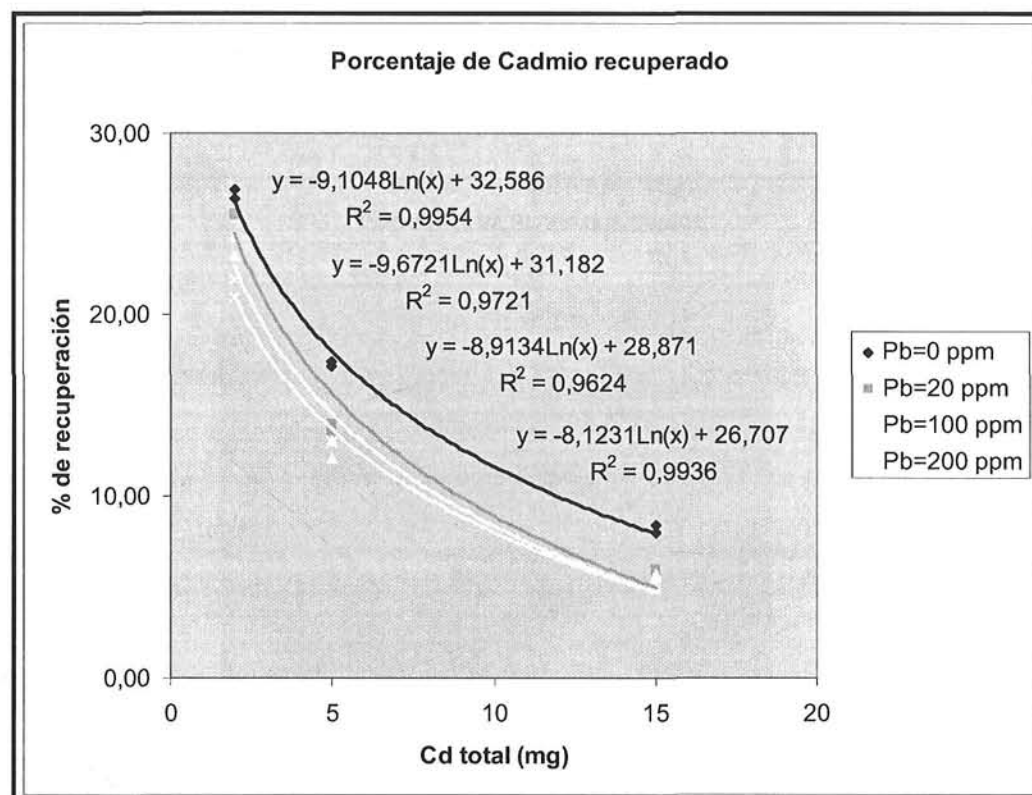
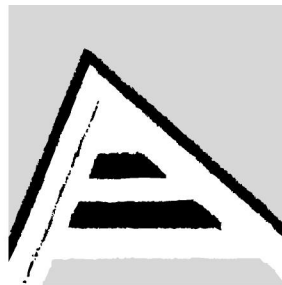


Figura 23 Recuperación de Cadmio por la Variedad Criollo 98



Se encontró que la ecuación que mejor describió una ecuación logarítmica con coeficientes de medida en que aumenta la concentración de (mas Cadmio, pero este incremento tiende a disminuir la asimilación se observa una tendencia de formar una meseta). La asimilación del elemento estará limitada por el crecimiento de la raíz y por la formación de un mayor volumen de biomasa por la planta, la que pudiera llegar a extraer hasta un 50% del Cadmio en una primera cosecha, de acuerdo con cálculos realizados a partir de los datos obtenidos en el Capítulo anterior de esta tesis.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 5.12 Porcentaje de recuperación de Pb por la planta

m(Pb añadido) mg	Porcentaje de recuperación de Plomo			
	Cd=0 ppm	Cd=2 ppm	Cd=5 ppm	Cd=15 ppm
20	5,35	4,96	4,04	3,62
20	5,47	4,93	4,01	3,46
100	2,28	1,97	1,52	1,40
100	2,27	1,89	1,64	1,38
200	1,06	1,01	0,90	0,66
200	1,16	1,02	0,90	0,72

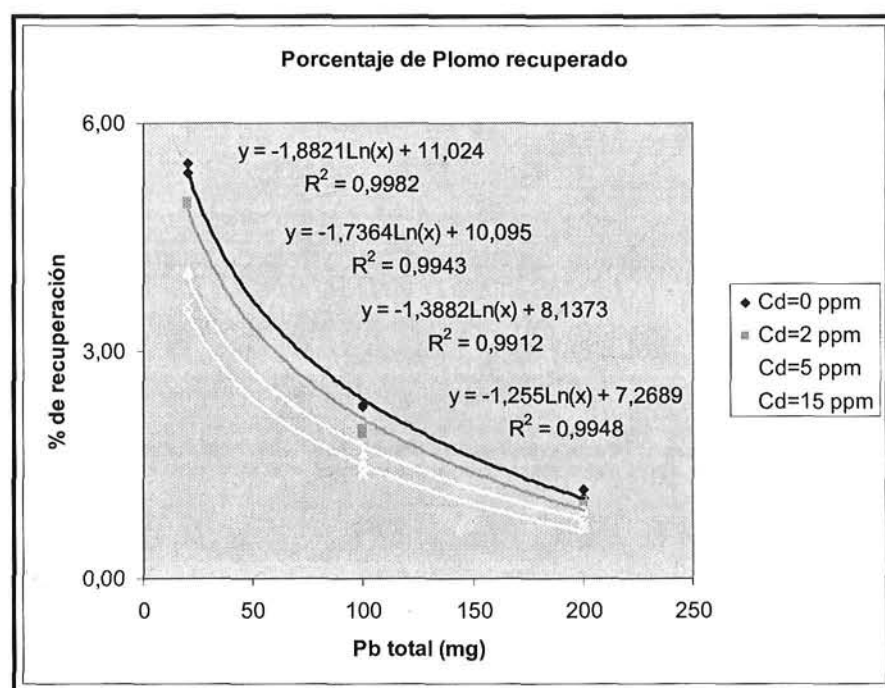
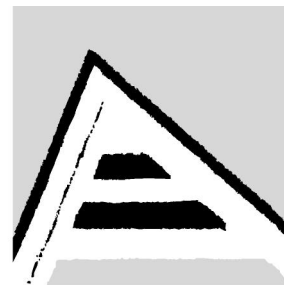


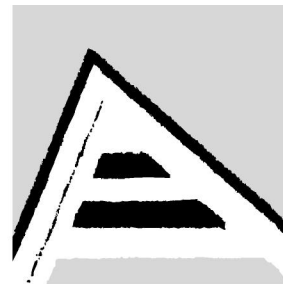
Figura 24 Recuperación de Plomo por la Variedad Criollo 98



Similar al comportamiento frente al Cadmio, describía el comportamiento de la variable coeficientes de regresión relativamente alto concentración de Plomo en la solución nutritiva

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

de Plomo en las diferentes partes de la planta, pero este incremento no es proporcional con los incrementos de la concentración de lomo en el sustrato, lo que conduce a que de forma general disminuya la recuperación de Plomo por la planta. Resulta evidente también, que esta variedad tiene mucha más afinidad por el Cadmio que por el Plomo. En el caso del Plomo, en condiciones normales, los porcentajes de recuperación serían muy inferiores a los del Cadmio, lo que confirma lo planteado por diferentes autores en el sentido que las plantas en general tienden a acumular solo un elemento en específico, en este caso para el Cadmio.



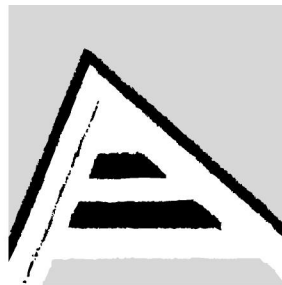
CAPÍTULO 5

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE DIFE VARIEDAD DE TABACO "CRIOLLO 98" CUL1

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Conclusiones:

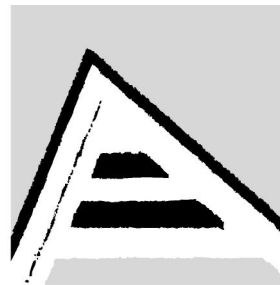
1. Los metales pesados Cadmio y Plomo son rápidamente absorbidos por la planta de tabaco, la que los acumula fundamentalmente en la raíz y en las hojas basales.
2. La asimilación de Cadmio y Plomo puede ser descrita por una ecuación de segundo grado, en función de las cantidades presentes de estos elementos en la solución nutritiva.
3. Tanto el Cadmio como el Plomo influyen de forma negativa en los diferentes parámetros morfológicos estudiados para la planta, con una incidencia mas marcada en el caso del Cadmio
4. La planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, Variedad "Criollo 98" puede acumular porcentajes elevados de Cadmio y Plomo, principalmente de Cadmio en condiciones de producción.
5. La planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, Variedad "Criollo 98" tiene buenas cualidades y características que permiten su uso en técnicas de Fitorremediación.



CONCLUSIONES GENERALES:

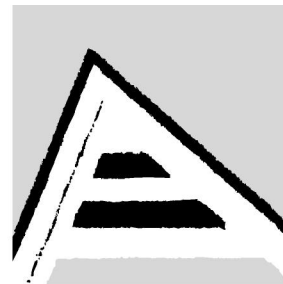
1. La implantación y uso de un Sistema de Irrigación por Goteo en la empresa tabacalera, constituye una mejora del proceso de producción y en el monitorización de la contaminación natural y antrópica.
2. Los niveles de fondo de los metales pesados Cadmio y Plomo en los suelos de la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez se encuentran por debajo de los niveles máximos permitidos en la norma nacional y de las normas extranjeras consultadas.
3. Los contenidos de metales pesados Cd y Pb en la hoja de tabaco en la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez son inferiores a los niveles requeridos por las empresas importadoras.
4. La planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) variedad "Criollo 98" tiene potencialidades para ser utilizada en procesos de fitorremediación.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M. (1993) Sustratos. Características y suelo. F. Cánovas y J.R. Díaz. (ed.). Institut **Universitat d'Alacant**
Universidad de Alicante
- ABAD, M. Y P. NOGUERA. (1997) Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 101-150.
In: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (ed.). Universidad de Almería.
Servicio de Publicaciones.
- ABOLLINO O., ACETO M., MALANDRINO M, MENTASTI E., SARZANINI C.,
BARBERIS R. (2002a) Distribution and mobility of metals in contaminated sites.
Chemometric investigation of pollutant profiles. Environmental Pollution, 119,
177-193.
- ABOLLINO O., ACETO M., MALANDRINO M, MENTASTI E., SARZANINI C.,
PETRELLA (2000b) Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy.
Distribution, speciation and chemometric data treatment. Chemosphere, 49,
545-557
- ADRIANO, D. C., WENZEL, W. W. AND E. LOMBI (2004) Biogeochemical processes in
the rhizosphere: role in phytoremediation of metal-polluted soils. p. 273-303. In
Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystems, edited by M.
Prasad and J. Hagemeyer. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- ADRIANO, D.,C. (1997) Biogeochemistry of trace metals. Eds. Science Reviews
Georgia. 432 pp.
- ALLOWAY BJ. (1995) Heavy metals in soil. London, UK: Blackie Academic &
Professional.
- ALLOWAY, B. J. (1995) Heavy metals in soils. Eds John Wiley And Sons, Inc. New
York. 368pp.
- ALMEIDA, J. R. de y OTROS (1993) Planeamiento Ambiental. Editorial Thex, Río de
Janeiro, Brasil, 154 pp.
- ALONSO MARTIRENA J. I. (1997) Contenido y distribución de metales pesados en
suelos de Navarra. Cadmio, Cobre, Manganeseo, Níquel, Plomo y Cinc. Tesis
Doctoral. Universidad de Navarra.



ALONSO, M. (1987) Manual de actividades p
257pp.

ANGELOVA, V.; K. IVANOV AND R. IVANOVA

Cadmium, and Zinc in Polluted Soils on T

Nutrition. Vol. 27, No. 5, pp. 757-773, 200

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ANSORENA J., MARINO N., LEGORBURU I. (1995) Agricultural Use of Metal Polluted
Soil near an Old Lead-Zinc Mine in Oiartzun (Basque Country, Spain).
Environmental Technology, 16, 213.

ANSORENA, M. J. (1994) Sustratos. Propiedades y Características. Edición Mundi-
Prensa, Madrid, Barcelona, México.

ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR (1997) Ley N° 81 del Medio Ambiente,
Gaceta Oficial de la República de Cuba, La Habana, Edición extraordinaria, pp.
47-68.

AYERS, R. S. AND D. W. WESTCOT. (1987) Water Quality for Agriculture, Food and
Agriculture Organization of the United Nations - Irrigation and Drainage Paper No.
29, Rev. 1, Rome (Italia). 174 p

AZCON-BIETO, J. Y TALÓN, M. (2000) Fundamentos de Fisiología Vegetal. 521 pp, Ed.
Mcgraw-Hill-Interamericana, Madrid.

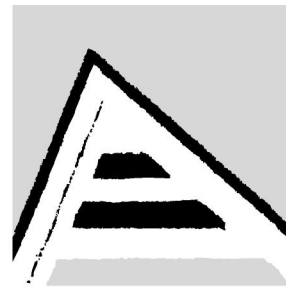
BAGHDADY N.H. y SIPPOLA J. (1984b) Extractability of pollutions elements cadmium,
chromium, nickel and lead of soil with three methods. Acta Agric. Scand., 34,
345-348.

BAILEY, R.G. (1996) Ecosystem Geography, USDA Forest Service, Springer-Verlag,
New York, 104pp.

BARCELÓ, J., VÁZQUEZ, M. D. AND POSCHENRIEDER, C. H. (1988) Structural and
ultra-structural disorders in cadmium-treated bush bean plants. New Phytol. 108,
37-49.

BARRAGÁN, J. M. (1994) Ordenación, Planificación y Gestión del Espacio Litoral,
Editorial OIKOS-TAU, Barcelona, 293 pp.

BARRAGÁN, J. M. (2003) Medio Ambiente y Desarrollo en Áreas Litorales, Introducción
a la Planificación y Gestión Integradas, Servicio de Publicaciones Universidad de
Cádiz, 301 pp.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

BASZYNSKI, T., WAJDA, L., KROL, M., WOLIN

A. (1980). Photosynthetic activities of *ca*
Plant. 48, 365–370.

BETTINELLI M., BEONE G.M., SPEZIA S., B/
metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively
coupled plasma optical emission spectrometry analysis. Analytica Chimica Acta,
424, 289-296.

BOISIER, S (1996) Ordenamiento territorial y proyecto nacional, Serie Ensayos,
Documento 35. Dirección de Políticas y Planificación Regional (ILPES), Naciones
Unidas/CEPAL-Consejo Regional de Planificación, 13 pp.

BOLÓS, M. de, et al. (1992) Manual de Ciencia del Paisaje: Teoría, Métodos y
Aplicaciones. Editorial MASSON, Barcelona España, 273 pp.

BORROTO, C.; BORROTO DE LA TORRE, A. (1991): "Microelementos". Citricultura
tropical, Tomo I :PP 201-210.

BOWEN, H.J.M. (1979). Plants and the Chemical Elements. (Ed.) Academic Press,
London

BOYD, R.S., SHAW, J.J., MARTENS, S.N., (1994) Nickel hyperaccumulation defends
Streptanthus polygaloides (Brassicaceae) against pathogens. Am. J. Bot. 81,
294–300.

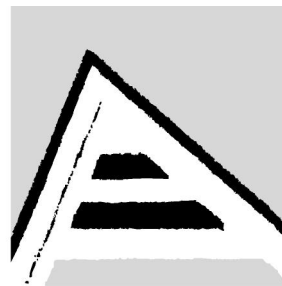
BROWN, S.L., CHANEY, R.L., ANGLE, J.S., BAKER, A.J.M., (1995) Zinc and cadmium
uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. Soil
Sci. Soc. Am. J. 59, 125–133.

BUREL, F. y J. BAUDRY (2002) Ecología del Paisaje, Conceptos, Métodos y
Aplicaciones, Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, 353 pp.

BURÉS, S. (1997). Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España.

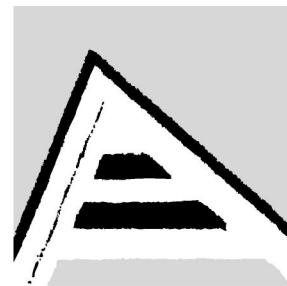
BURÉS, S. (1999) Introducción a los sustratos: aspectos generales. pp. 19-46. In:
Tecnología de sustratos: aplicación a la producción viverística ornamental,
hortícola y forestal. J.N. Pastor S. (ed.). Universidad de Lleida. España.

BUSTIOS S.; (2004) Fitotecnia del tabaco. Conferencia en la especialidad de tabaco.
Escuela de Capacitación de la Agricultura. Pinar del Río. Cuba



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

- BUSTIOS, S. (1982) Estudio de precedentes c
tapado en un suelo Ferralítico Rojo Comp
de Dr. en Ciencias. ISCAH. La Habana.
- BUSTIOS, S. (1999) Influencia del movimiento
sus propiedades físicas. Conferencia sobre laboreo de suelos. Maestría de
Tabaco. Universidad de Pinar del Río.
- CABALLERO, J. V. (1997b) Los Conceptos Geográficos de los Documentos de
Planificación Física: el Caso de la Charte de L'île de France, Cuadernos
Geográficos; Universidad de Granada, 27; pp. 267-274
- CABALLERO, J. V., (1997a) El programa de Europa 2000-Apreciaciones Conceptuales
y Metodología para la Ordenación del Territorio; Cuadernos Geográficos;
Universidad de Granada 27; pp. 253-265.
- CABRERA, E.; OTERO, A.; PORRAS, P.; BOUZA, H.; LLANES, J. M. Y HERNÁNDEZ,
J. M. (1996) Influencia de la labranza mínima con reducción de la dosis de abono
orgánico sobre la conservación del suelo, la atmósfera y el cultivo del tabaco. En
CMICT. MCTMR. Pinar del Río.
- CAIRO, P. Y FUNDORA, O. (1994) Edafología. Editorial Pueblo y Educación. Playa.
Ciudad de la Habana. 476 p.
- CALMANO W., AHLF W., BENING J.C. (1992) Chemical mobility and bioavailability of
sediment-bound heavy metals influence by salinity. Hidrobiología 235/236,
605-610.
- CALVO DE ANTA R. M. (1997) El conocimiento del suelo como principio básico de la
gestión de suelos contaminados. Libro de Ponencias. 50 aniversario de la Sociedad
Española de la Ciencia del Suelo, Madrid, 211-240.
- CANO PARRILLA M. A.; MORENO GARCÍA A.M. Y GONZÁLEZ PARRA J. (1997)
Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo.
Ecología 11: 83-89.
- CANOVAS, F.; DÍAZ, J. R. (1993) Cultivos Sin suelo. Curso Superior de Especialización.
Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Fundación para la Investigación Agraria en
la Provincia de Almería. Almería.



CANOVAS, F.; MAGNA, J. J.; BOUKHALFA, A.

En Técnicas de producción de frutas y h
Sureste español. Ed. Instituto de la Caja R

Universitat d'Alacant

CHEN M., MA L.Q, HARRIS W.G. (1999) Baseli

Universidad de Alicante

in Florida surface soils. Journal of Environmental Quality 28, 1173-1181.

CHOWDHURY, B. A., CHANDRA, R. K. (1987) Biological and health implications of toxic heavy metal and essential trace element interactions. Progr. Food Nutr. Sci., 11, 55-113.

CONSEJO DE EUROPA (1983) Carta Europea de la Ordenación del Territorio aprobada en la 6ta CEMAT celebrada en Torremolinos, España, 4 pp.

CONSEJO DE EUROPA (2000) Convención Europea del Paisaje, Congreso de Poderes Locales y Regionales de Europa, Florencia, 12 pp.

CROOK J. (1984) Health and regulatory considerations . A: G.S. PETTYGROVE, T. ASANO (ads.). Irrigation with reclaimed municipal wastewater. California State Water Resources Control Board. Sacramento, California.

CUBA (2000) Lineamientos de los programas de la agricultura convencional. Grupo Nacional de Agricultura Orgánica. GNAC. MINAG 35p

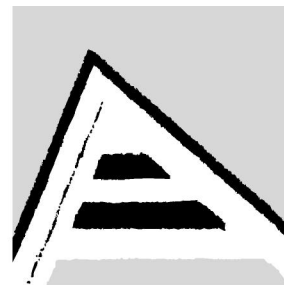
CUBA, MINISTERIO DE LA AGRICULTURA (1984) Dirección General de suelos y Fertilizantes. Suelos de la Provincia de Pinar del Río. Ed. Científico-Técnica, La Habana 177p

CUBA. (1998) Ministerio de la Agricultura. Dirección Nacional del Cultivo del Tabaco. Instructivo técnico para el cultivo del tabaco. La Habana: CIDA sp

CUBA. (1998) Ministerio de la Agricultura. Instituto de Investigaciones del Tabaco. Instructivo técnico para el cultivo del tabaco. La Habana: SEDAGRI / AGRINFOR 128p.

DAY, K.J., HUTCHINGS M.J., JOHN E.A. (2003) The effect of spatial pattern of nutrient supply on the early stages of growth in plant populations. Journal of Ecology 91: 305-315.

DE BOODT, M., O. VERDONCK E I. CAPPAERT. (1974) Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. Acta Hort. 37: 2054-2062.



DE HAAN F.A.M., VAN RIEMSDIJK W.H. (1986

soil. Contamination of soils, 1 st Int. TNO

brink, W.J. Nijhoff, Dordrecht, Holanda, 19-

DENG, H.; Z. H. YE AND M. H. WONG (2004)

cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China.

Environmental Pollution. Volume 132, Issue 1, November 2004, Pages 29-40

DEVLIN R. M. (1979) Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana 1979.

DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1986) L. 86/278/CEE.

DÍAZ, F. L. (1993) Estudio de la influencia de la altura del desbotonado y el método de recolección, en el rendimiento y calidad de la variedad de tabaco "Burley Habana-13". Tesis presentada para la opción del Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas".

DOMÉNECH X. (1997) Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Ed. Miraguano, 11-18, 29-52, 119-122.

DONCHEVA S, NIKOLOV B, OGNEVA V (1996) Effect of copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells. *Physiol. Plant.* 96:118-122.

DONCHEVA, S. 1998. Copper induced alterations in the structure and proliferation of maize root meristem cells. *Journal of Plant Physiology* 153: 482-487.

DONCHEVA, S., B. NIKOLOV AND V. OGNEVA. (1996) Effect of Copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells. *Physiologia Plantarum* 96: 118-122.

DOUROJEANNI, A. (2000) Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable, Naciones Unidas, Santiago de Chile, 408 pp.

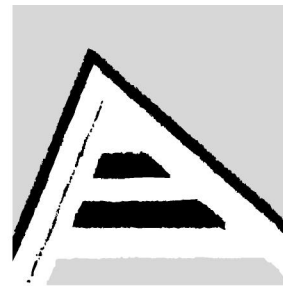
DRAGUN, J. (1976) Copper: An analysis of soil-plant relations. *Science in Agriculture. Agric. Exp. Sta.* 23 (39): 2-3. Pennsylvania State University, University Park, Pa.

EIJA PÄTSIKKÄ, MARJA KAIRAVUO, FRANTISEK SEREN, EVA-MARI ARO, AND ESA TYYSTJÄRVI (2002) Excess Copper Predisposes Photosystem II to Photo-inhibition in Vivo by Outcompeting Iron and Causing Decrease in Leaf Chlorophyll *Plant Physiol*, July 2002, Vol. 129, pp. 1359-1367

ELKHATIB E.A., ELSHEEBINY G.M., BALBA A.M. (1991) Lead sorption in calcareous soils. *Environ. Pollut.* 69, 269-276.

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante



ELLIOT H.A., LIBERATI M.R., HUANG C.P. (

Metals by Soils. Journal of Environmental (

EVANGELOU, MICHAEL W.H. HATICE DAGHA

The influence of humic acids on the

Chemosphere. Volume 57, Issue 3, October 2004, Pages 207-213

EVANGELOU, MICHAEL W.H., HATICE DAGHAN, ANDREAS SCHAEFFER. (2004)

The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil.

Chemosphere 57 (2004) 207-213

EVANGELOU, MICHAEL W.H., MATHIAS EBEL, ANDREAS SCHAEFFER. (2006)

Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with tobacco *Nicotiana tabacum*. Chemosphere 63 (2006) 996-1004

FACCHINELLI A., SACCHI E., MALLIN L. (2001) Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal source in soils. *Environmental Pollution* 114, 313-324.

FAO (1983) Manténgase viva la tierra. Causas y remedios de la erosión. Roma.

FAO (1984) Land, Food and People. Colección FAO: Desarrollo económico y social. Roma.

FAO (1986) Manual de ordenación de cuencas hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación 13/1. Roma.

FAO (1989) En busca de un nuevo equilibrio. Panorama de situación por el Director General. Roma.

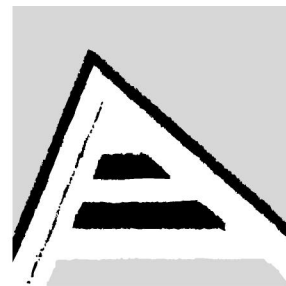
FAO. (1989) En busca de un nuevo equilibrio. Panorama de situación por el Director General. Roma.

FARINA, A. (1998) Principles and Methods in Landscape Ecology, Chapman and Hall, 345 pp.

FERNÁNDEZ, M. M.; AGUILAR, M. I.; CARRIQUE J. R.; TORTOSA, J.; GARCÍA, C.; LÓPEZ, M.; PÉREZ, J. M. (1998) Suelo y medio ambiente en invernaderos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.

FLORIAN D., BARNES R.M., KNAPP G. (1998) Comparison of microwave-assisted acid leaching techniques for the determination of heavy metals in sediments, soils, and sludges. *Fresenius J Anal. Chem.* 362 7, 558-565.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



FOJTA, M., MILOSLAVA F., LUDEK H., PIVC

(2006) Electrochemical monitoring of
tabacum cells exposed to sub-cytotoxic
Chimica Acta 558 (2006) 171–178

FORMAN, R. T. T. and M. GODRON (1986) L
New York, 619 pp.

FRIEDMANN, J., (1991) Planificación para el siglo XXI: El desafío del Postmodernismo,
Revista Eure; Vol. XVIII, No. 55; pp. 79-89.

GABIÑA, J. (1998) Prospectiva y Ordenación del Territorio: Hacia un proyecto de futuro,
Marcombo, S.A., Barcelona, 182 pp.

GARCÍA TRUJILLO R. (1993) Tendencias mundiales de la agricultura orgánica. Primer
encuentro nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y mesas redondas.
Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana (ISCAH) 19 al 21 de
Mayo de 1993.

GARCÍA, I., DONROROSO, C. (2003) Contaminación de suelos por metales pesados.
Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.
España.

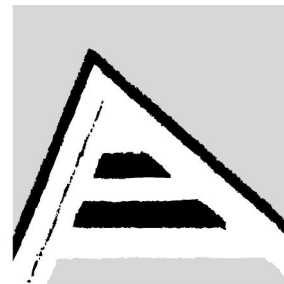
GASTÓ, J. y P. RODRIGO (1998) Estado actual del uso de los instrumentos de
ordenamiento del territorio en Chile, Apoyo al desarrollo de instrumentos de
manejo de los recursos naturales: Ordenamiento Territorial, En: CONAMA,
Programa de fortalecimiento y cumplimiento de las normas del medio ambiente,
Santiago de Chile, CONAMA BID/FOMIN (1) pp. 56-108

GASTÓ, J., P. RODRIGO e I. ARÁNGUIZ (2002) Ordenación Territorial, Desarrollo de
Predios y Comunas Rurales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal,
Pontificia Universidad Católica de Chile, LOM Ediciones, Santiago de Chile, 998
pp.

GERRISTE R.G., VAN DRIEL, W. (1984) The relationship between adsorption of trace
metals, organic matter and pH in temperate soils. J. Environ. Qual.13, 197-204.

GHOSHROY, S. AND NADAKAVUKAREN, M. J. (1990) Influence of cadmium on
ultrastructure of developing chloroplasts in soybean and corn. Environ. Exp. Bot.
30, 187–192.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



GICHNER T., PATKOVÁ Z., SZÁKOVÁ J., DE

DNA damage in tobacco roots, but not
homologous recombination in tobacco
49–57

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

GISBERT, CARMINA; ROC ROS, ANTONIO DE HARO, DAVID J. WALKER, M. PILAR
BERNAL, RAMÓN SERRANO AND JUAN NAVARRO-AVIÑÓ (2003) A plant
genetically modified that accumulates Pb is especially promising for
phytoremediation. Biochemical and Biophysical Research Communications.
Volume 303, Issue 2, 4 April 2003, Pages 440-445

GLASS, D.J., (1999) Economic potential of phytoremediation. In: Raskin, I., Ensley, B.D.
(Eds.), Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the
Environment. John Wiley & Sons, New York, NY, pp. 15–31.

GOBIERNO DE NAVARRA (2002) Ley Foral 35/2002, de 20 de Diciembre, de
Ordenación del Territorio y Urbanismo, BON numero 156, Pamplona, 98 pp.

GÓMEZ OREA, D. (2002) Ordenación Territorial, Editorial Agrícola Española y Mundi-
Prensa, Madrid, España, 704 pp.

GONZALES, M. (1992). Agroecología. Bases teóricas para una historia agraria
alternativa. Agroecología y desarrollo No. 4.

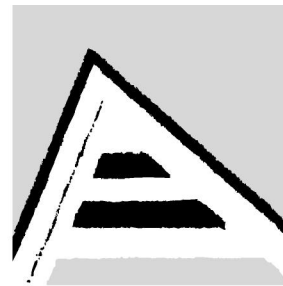
GONZÁLEZ-BERNALDEZ, F. (1981) Ecología y Paisaje, Editorial H. Blume, Madrid,
250 pp.

GOUGH L.P., SEVERSON L.C., JACKSON L.L. (1994): Baseline element concentration
in soils and plants, Bull Island, Cape Romain, National Wildlife Refuge, South
Carolina, USA. Water, Air and Soil Pollution, 74, 1-17.

GRCMAN, H., VELIKONJA-BOLTA, S., VODNIK, D., KOS, B., LESTAN, D., (2001)
EDTA enhanced heavy metal phytoextraction: metal accumulation, leaching and
toxicity. Plant Soil 235, 105–114.

GRCMAN, H., VODNIK, D., VELIKONJA-BOLTA, S., LESTAN, D., (2003) Ethylene-
diamine-dissuccinate as a new chelate for environmentally safe enhanced lead
phytoextraction. J. Environ. Qual. 32, 500–506.

GUARDIOLA, J. L. Y L. A. GARCÍA (1990) Fisiología vegetal, nutrición y transporte.
España: Ed. Síntesis 1990.



GUDIÑO, M. E. (2003) Desafíos para el Ne
Planificación Estratégica, en Proyección I
Mendoza, Argentina, Numero 2, pp.33-40

Universitat d'Alacant

GUPTA S.K. (1984) Importance of soil solution
analytical criteria for guidelines on maximum tolerable metal load and assessing
biosignificance of metal in soil. Schweiz. Ladw. Fo. 23, 209-225.

Universidad de Alicante

GUPTA S.K., ATEN C. (1993) Comparison and evaluation of extraction media and their
suitability in a simple model to predict the biological relevance of heavy metal
concentrations in contaminated soils. International Journal of Environmental
Analytical Chemistry. 51, 25-46.

HARADA, EMIKO; YONG-EUI CHOI, ATSUNARI TSUCHISAKA, HITOSHI OBATA AND
HIROSHI SANO (2001) Transgenic tobacco plants expressing a rice cysteine
synthase gene are tolerant to toxic levels of cadmium. Journal of Plant Physiology.
Volume 158, Issue 5, 2001, Pages 655-661

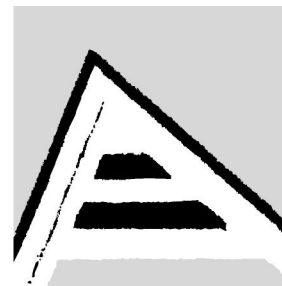
HELLMAN H. (2002) Definitions of background-concentrations- An overview. Acta
Hydrochimica et Hydrobiologica, 29, 391-398.

HERNÁNDEZ A., ASCONIO O., ORTEGA F., ÁVILA L., CÁRDENAS A., MARRERO A.
(1975) Segunda clasificación genética de os suelos de Cuba. Serie suelos., 23
pp 1-25.

HERNÁNDEZ A., PÉREZ, J. M., GONZÁLEZ, J., E., CAMACHO R., RUIZ J., BOSH J.,
TORRES M. (1994) Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de
Cuba. Instituto de los Suelos. Ministerio de la Agricultura. Ciudad de la Habana.
Pp 48.

HILDENBRAND, A. (1996) Política de Ordenación del Territorio en Europa. Universidad
de Sevilla-Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, Sevilla, España,
76 pp.

HOODA P.S. y ALLOWAY B. J. (1994b) Changes in operational fractions of the trace
metals in two soils during two years of reaction time following sludge treatment.
International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 57, 289-311.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

HOODA P.S., ALLOWAY B.J. (1994a) Sorption
arid soils effects of sludge application and
Pollution74, 235-250.

HOODA P.S., ALLOWAY B.J. (1998) Cadmium
English and Indian soils. Geoderma84, 121-134.

IHOBE (1994) Investigación de la Contaminación del Suelo. Plan Director para la
protección del suelo. Gobierno Vasco.

IMPELLITTERI C. A., LU Y., SAXE J. K., ALLEN H. E., PEIJNENBURG W. J. G. M.
(2002) Correlation of the portioning of dissolved organic matter fractions with the
desorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from 18 Dutch soils. Environment International
28, 401-410.

INE-SEMARNAP (1996) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al
Ambiente. Gaceta Ecológica; México, D. F., Nueva Época, No. 40, Otoño, pp.
84-120.

INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN FÍSICA (1999) Ley de Ordenamiento Territorial y el
Urbanismo (proyecto). Ministerio de Economía y Planificación, La Habana, 32 pp.

ISO 11047: Soil Quality. Determination of heavy metals by flame and flameless atomic
absorption spectrometry.

ISO 11466 (1995) Soil Quality. Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua Regia.

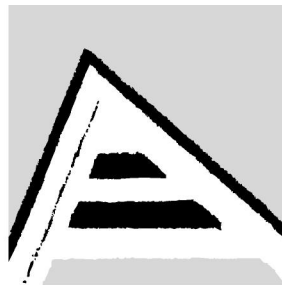
JANOUSHKOVÁ, M.; D. PAVLÍKOVÁ, T. MACEK, AND M. VOSÁTKA (2005). Influence of
arbuscular mycorrhiza on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted
metallothionein gene. Applied Soil Ecology. Volume 29, Issue 3, July 2005, Pages
209-214

JIMÉNEZ MONTESINOS, M. (1983) Análisis de suelos. E.R.T.

JIN Q., LIANG F., ZHANG H., ZHAO L., HUAN Y., SONG D. (1999) Application of
microwave techniques in analytical chemistry. Trends in Anal. Chem., 18, 479-484.

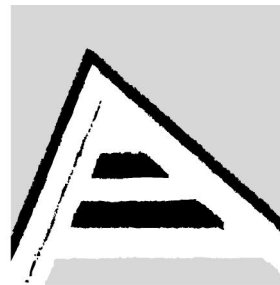
KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. (1984) Trace Elements in Soils and Plants, 2nd
Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 1984.

KABATA-PENDIAS A, ed. (2000) Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL,
USA: CRC Press LLC.



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

- KABATA-PENDIAS A. (1995) Agricultural prob contents of soils. In: W. Salomons, U. F Metals. Problems and Solutions. 3–18.
- KABATA-PENDIAS, A. Y PENDIAS, H. (1992) CRC Presss. Bocaratón, USA.365 pp.
- KASHEM M.A., SINGH B.R. (2001) Metal availability in contaminated soils: i. Effects of flooding and organic matter on changes in eh, ph and solubility of Cd, Ni. And Zn nutr cycl agroecosys 61 (3), 247-255.
- KATARINA VOGEL-MIKUŠ; DAMJANA DROBNE AND MARJANA REGVAR (2005) Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. Environmental Pollution. Volume 133, Issue 2, January 2005, Pages 233-242
- KIEKENS L. (1984) Behaviour of heavy metals in soils En "Utilisation of sewage sludge of land: Rates of application and long-term effects of metals". Eds S. Berglung, R.D. Davis y P. L'Hermite, D. Reidel Publis. Co. Dordercht, pp 126-134.
- KOWALEWSKA Z., BULSKA E., HULANICKI A. (1998) The effect of sample preparation on metal determination in soil by FAAS Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 362, 125-129.
- KRISHNAMURTI G.S.R., NAIDU R. (2003) Solid-solution equilibria of cadmium in soils. Geoderma, 113, 17-30.
- KUO S., HEILMAN P.E., BAKER A. S. (1983) Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron and manganese in soils near a copper smelter. Soil Sci. 135 101-109.
- LAKE D.L., KIRK P.W.W., LESTER J.N. (1984) Fractionation, characterization and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge-amended soils: a review. J. Envirom. Qual. 13, 175-183.
- LARSSON, E.H., BORNMAN, J.F. AND HAKAN, A. 1998 Influence of UV-B radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. J. Exp. Botany, 49, 1031 – 1039.



LASKI, P. (1988) Generación de tecnología:
desarrollo rural. No. 4 Oficina Regional pa

LAVANDEROS, L., J. GASTÓ y P. RODRIGO (1997) El
Administrativo del Territorio, Sistemas
Universidad Católica de Chile, Universidad de Chile
Chile Ambiente, 197 pp.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

LEBOURG A., STERCKEMAN T., CIESIELSKI H., PROIX N. (1998) Trace metal
speciation in Three un buffered salt solutions used to assess their bioavailability in
soil. Journal of Environmental Quality, 27, 584-590.

LINDSAY W.L., NORWELL W.A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron,
manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42, 421-428.

LLURBA, M. (1997) Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. Revista Horticulura
Nº 125 - Diciembre 1997.

LOBO BEDMAR, M.C. (2002) Descontaminación de suelos. Instituto Madrileño de
Investigación Agraria y Alimentaria. IMIA. N-11, km 38200 28800, Alcalá de
Henares, Madrid, España.

LUND W. (1990) Speciation analysis- why and how. Fresenius J. Anal. Chem., 337,
557-564.

MANTOBANI, J. M. (1997) El Ordenamiento Territorial ¿política social o política
económica? VI Encuentro de Geógrafos de América Latina, Buenos Aires, 9 pp.

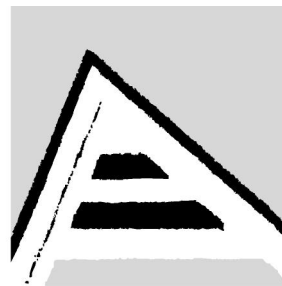
MANZIONE M.A. y MERRILL D.T. (1989) Trace metal removal by Iron coprecipitation:
Field evaluation. Electric Power Research Institute Report EPRIGS-6438, Palo
Alto, CA, USA.

MARI, J. A., L. N. HONDAL, J. M. FORTUNA, J. L. RÍOS, MAIRA CRISTO, P. F.
FUENTE Y ENMA MURO (1990) Influencia de la rotación de cultivos en la
fenología de la planta de tabaco. Temas técnicos de tabaco 7 (1): 16-24pp

MAROTO, J. V. (1990) Elementos de Horticulura General. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

MARSCHNER, H. (1995) The soil-root interface (Rhizosphere) in relation to plant
nutrition." Chap. 15. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press.

MARTÍNEZ, E; GARCÍA, M. (1999) Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo.
Ed Horticulura. Madrid.



MASSART D. L. AND KAUFMAN L. (1983) T

Data by the Use of Cluster Analysis. Wiley.

MASSART, D. L., F. ESTIENNE, N. ZANIER, P.

Stepwise Variable Selection Applied to Rai

Chemometrics Society (B.C.S.) (20 November 1998) Brussels - Belgium

Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

MASSIRIS, A (2001) Cualidades y desafíos de las políticas latinoamericanas de OT, en Coloquio Geográfico sobre América Latina, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 14 pp.

MATEO, J. (1991) Geoecología de los Paisajes. Apuntes para un curso de postgrado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 222 pp.

MATEO, J., J. L. GUZMAN y E. SALINAS (1985) El Análisis de los Paisajes como fundamento para la Planificación de los Territorios, Primera Jornada sobre Planificación Regional, y Urbana, IPF- JUCEPLAN, La Habana, 18 pp.

MAYWALD, F., WEIGEL, H.J., (1997) Biochemistry and molecular biology of heavy metal accumulation in higher plants. Landbauforsch. Volk. 47, 103–126.

Mc GRATH D. (1995) Organic micro pollutant and trace element pollution of Irish soils. Sci. Total Environ., 164, 125-133.

MEHARG A.A (1994) Integrated tolerance mechanisms - constitutive and adaptive plant - responses to elevated metal concentrations in the environment. Plant Cell Environ 17: 989-993

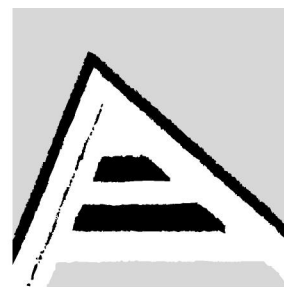
MÉNDEZ, E. (1999) Planificación y Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible, CIDIAT, Mérida, Venezuela, 131 pp.

MILLAR E. V. (1967) Fisiología Vegetal. Editorial Hispano-Americana. 1967

MILLIS, P.R., RAMSEY, M.H., and JOHN, E.A. (2004) Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainty in plant uptake and its implications for human health risk assessment. Science of the Total Environment 326: 49–53.

MINAGRI (1994). Manual de técnicas de análisis químico para el humus de lombriz. Instituto de suelos. Ciudad de la Habana

MINAGRI, P. DEL RÍO. (1996) Informe provincial. Sesión Científica. Mayo de 1996. P. del Río.



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

MINER, G.S.; GUTIERREZ, R.; KING, L.C

concentrations of cadmium, copper and zi

Qual. 1997, 26, 989–994.

MIRANDA -TREVINO J. C. y COLES C.A. (2003)

influence of metal retention on pH. Applied Clay Science, in Press, Corrected

Proof. Available online 16 June 2003.

MUNTAU, H., REHNERT A., DESAULES, A., WAGNER, G., THEOCHAROPOULOS S.

& QUEVAUVILLER, Ph. (2001a): Analytical aspects of the CEEM soil project. The

Sci. of the Total Environ., 264, 27-49.

MYUNG CHAE JUNG AND IAIN THORNTON. 1996. Heavy metal contamination of soils

and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. Applied Geochemistry, Vol. 11,

pp. 53-59, 1996

NAIDU R., BOLAN N.S., KOOKANA R.S., TILLER K.G. (1994): Ionic-strength and pH

effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. En. J. Soil Sci.

45, 419-429.

NAKASHIMA S., STURGEON R.E., WILLIE S.N., BERMAN S.S. (1998): Acid digestion

of marine sample for trace element analysis using microwave heating. Analyst, 113,

159.

NAVARI-IZZO F, QUARTACCI MF, PINZINO C, DALLA VECCHIA F, SGHERRI CLM

(1998) Thylakoid-bound and stromal enzymes in wheat treated with excess copper.

Physiol Plant 104: 630-638

NAVARRO, E. (2003) ¿Puede seguir creciendo la Costa del Sol? Indicadores de

Saturación de un destino turístico, Colección Monografías Numero 23, Servicio de

Publicaciones, Diputación Provincial de Málaga, 360 pp.

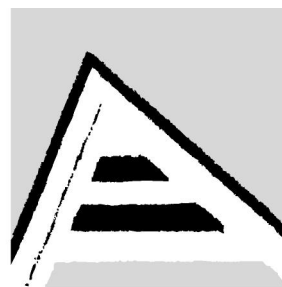
NAVAS A. y MACHÍN J. (2002b): Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils

of Aragón (northeast Spain): controlling factors and environmental implications,

Applied Geochemistry, 17, Issue 8, 961-973.

NAVEH, Z. and A. S. LIBERMAN (1984). Landscape Ecology: Theory and Application.

Springer Verlag; New York; 341 pp.



NEAL R.H., SPOSITO G. (1986): Effects of soil amendments on cadmium sorption by soil. *Sci.*, 142, 164-172.

NICHOLSON F.A., SMITH S.R., ALLOWAY B.

B.J. (2003): An inventory of heavy metals in Wales. *The Science of The Total Environment*, 311, Issues 1-3, 205-219.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

NIGAM, R., SRIVASTAVA, S., PRAKASH, S., SRIVASTAVA, M.M., 2000. Cadmium mobilisation and plant availability—the impact of natural organic acids commonly exuded from roots. *Plant Soil* 230, 107–113.

NILSON T., KRANTZ-ELIASSON, B., BJURMAN M. (1995): Measurement pH of in soil samples from a cutover peatland in Sweden. The effect of electrolyte and solution soil ratio. *Communication Soil Science and Plant Analysis*. 26, 361-374.

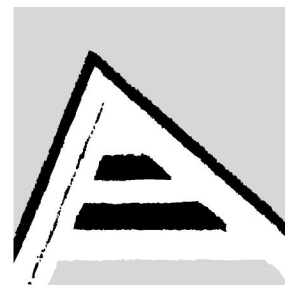
NOVOZAMSKI I., LEXMON Th. M., HOUBA V. J. G. (1993): A single extraction procedure of soil for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. *Int. Journal Environ. Anal. Chem.*, 51, 47-58.

OLSON, B. H. and V. P. GUINN (1978) Accumulation of trace elements in soil and plants from land disposal of secondary domestic wastewater . A: H.L. McKIM (ed.). *State of knowledge in land treatment of wastewater*. Symp. Hanover, New Hampshire, agosto 1978.

PÉREZ CID B., FERNÁNDEZ ALBORÉS A., FERNÁNDEZ GÓMEZ E. Y FALQUÉ LÓPEZ E. (2001). Metal fractionation in olive oil and urban sewage sludge using the three-stage BCR sequential extraction method and microwave single extractions. *Analyst*, 126 (8), 1304–1311.

PICKERING, W.F. (1986): Metal ion speciation- soils and sediments (a review). *Ore Geology Reviews*, 1, 83-146.

PODAR DORINA, MICHAEL H. RAMSEY AND MICHAEL J. HUTCHINGS (2004) Effect of cadmium, zinc and substrate heterogeneity on yield, shoot metal concentration and metal uptake by *Brassica juncea*: implications for human health risk assessment and phytoremediation. *New Phytologist*. (2004) 163: 313–324
www.newphytologist.org



PORTA J., LOPEZ ACEVEDO M., ROQUER
y el Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa

PRASAD, M.N.V. 1995. Cadmium toxicity &
Exp. Bot. 35, 525–545

PUJADAS, R. Y J. FONT (1997). Ordenac
Sociedades. Serie Mayor, No. 8, Editorial

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

QUEVAUVILLER Ph. (1998): Operationally defined extraction procedures for soil and
sediment analysis I. Standardization. Trends in Anal. Chem., 17, No. 5.

QUEVAUVILLER Ph., MAIER E.A. (1995): Quality assurance and quality control for
environmental monitoring. In: Quevauviller P, editor. Quality assurance in
environmental monitoring sampling and sample pre-treatment. 1-25.

QUEVAUVILLER Ph., RAURET G., MUNTAU H., URE R., RUBIO A.M., LÓPEZ-
SÁNCHEZ J.F., FIEDLER H. D, GRIEPINK B. (1994). Evaluation of a sequential
extraction procedure for the determination of extractable trace metal contents in
sediments. Fresenius Journal of Analytical Chemistry. 349, 808-814.

QUINTANA, G. W.; (1981) Aspectos fitotécnicos y algunas características agronómicas
que influyen en el rendimiento y la calidad en la planta de tabaco. Boletín de
Reseñas, Tabaco 5. 1981

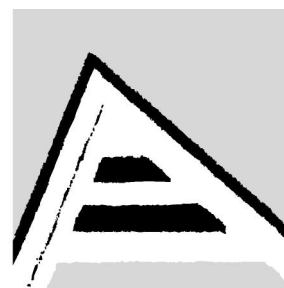
RASKIN, I., SMITH, R.D., SALT, D.E., 1997. Phytoremediation of metals: using plants to
remove pollutants from the environment. Curr. Opin. Biotechnol. 8, 221–226.

RAURET G. (1998): Extraction procedures for the determination of heavy metals in
contaminated soil and sediment 1998, Talanta. 46, 449-455.

RENGASAMY BOOMINATHAN AND PAULINE M. DORAN (2003). Organic acid
complexation, heavy metal distribution and the effect of ATPase inhibition in hairy
roots of hyperaccumulator plant species. Journal of Biotechnology. Volume 101,
Issue 2, 6 March 2003, Pages 131-146

RIVEROL, M. (1986) La erosión potencial de los suelos de Cuba y los resultados para
su mapificación. Tesis de Candidatura. Instituto de Suelos de la Habana.

ROBINSON, B.H., MILLIS, T.M., PETIT, D., FUNG, L.E., GREEN, S.R., CLOTHIER,
B.E., 2000. Natural and induced cadmium accumulation in poplar and willow:
implications for phytoremediation. Plant Soil 227, 301–306.



ROMKENS, P., BOUWMAN, L., JAPENGA, .
drawbacks of chelate-enhanced phytore
109–121.

ROUGERIE, G. and N. BEROUTCHACHVILI (
Methodes, Collection Geographie, Editori

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

RUBIN B. A. (1984) Curso de Fisiología Vegetal. Traducido del Ruso. Moscú. 1984

RUBIO R., VIDAL M. (1995): Quality assurance for sampling and sample pre-treatment
for trace metal determination in soils. In: Quevauviller P, editor. Quality assurance
in environmental monitoring sampling and sample pre-treatment. 159-179.

SADE, A. 1997. Cultivos bajo condiciones forzadas. Nociones generales. Ed. Hazera
España 90, S.A. Tel Aviv. Israel.

SAGNER, S., KNEER, R., WANNER, G., COSSON, J.P., DEUS-NEUMANN, B., ZENK,
M.H., 1998. Hyperaccumulation, complexation and distribution of nickel in *Sebertia*
acuminate. *Phytochemistry* 47, 339–347

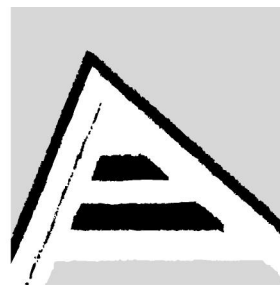
SAHUQUILLO A., LOPEZ SANCHEZ J.F., RUBIO R., RAURET G., THOMAS R.P.,
DAVIDSON C.M., URE A.M. (1999): Use of a certified reference material for
extractable trace metals to as see sources of uncertainty in The BCR three-stage
sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta*, 382, 317-327.

SAHUQUILLO A., RIGOL A., RAURET G. (2003): Overview of the use of
leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils
and sediments. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 22, 152-159.

SALINAS E. (2001) Landscape Ecology as a basis for Regional Planning in Cuba, in
Zee, D.van der and I. S. Zonneveld (eds) *Landscape Ecology Applied in Land*
Evaluation, Development and Conservation. Some worldwide selected examples,
Enschede, ITC publication 81, pp. 181- 194.

SALINAS, E. (1991) *Análisis y Evaluación de los Paisajes en la Planificación Regional*
en Cuba, Tesis de doctorado, Universidad de la Habana, 187 pp. (inédito)

SALINAS, E. (1994) *El Ordenamiento Geoecológico en la Planificación Regional en*
Cuba, Medio Ambiente y Urbanización, Año 13 No. 49 pp. 89-99, Buenos Aires,
Argentina.



SALT, D. E., PRINCE, R. C., PICKERING, I.
cadmium mobility and accumulation
1427–1433.

SALT, D.E., SMITH, R.D., RASKIN, I., 1989
Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 643–668.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1993) Análisis agrícola. Material complementario para el análisis e interpretación de suelos y fertilizantes. Escuela Universitaria Politécnica Agraria. Palencia. Universidad de Valladolid. España.

SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1996) El análisis e interpretación de suelos y fertilizantes. Explotaciones agropecuarias, Serie agrícola No. A-15. Universidad de Valladolid, España.

SANDRONI V., SMITH C.M.M., DONOVAN A. (2003): Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. Talanta, 60, Issue 4, 715-723.

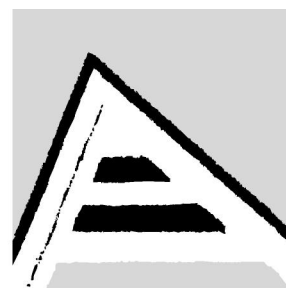
SAPPIN-DIDIER, V.; MENCH, M.; GOMEZ, A.; MASSON, P. (1997) Evaluation by single extractants of Cd immobilization following the addition of inorganic amendments in two metal contaminated soils. Comptes rendus de l' academie des sciences. Serie III. Sciences de la Vie 1997, 320, 413–419.

SASTRE J., SAHUQUILLO A., VIDAL M., RAURET G. (2002): Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction, Analytica Chimica Acta, 462, 59-72.

SASTRE J., VIDAL M., RAURET G., SAURAS T. (2001): A soil sampling strategy for mapping trace element concentrations in a test area. The Science of the Total Environment, 264, 141-152.

SAUVE S., HENDERSHOT W., ALLEN H.E. (2000): Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. Environ. Sci. Technol, 34, 1125-1131.

SAUVE S., McBRIDE M.B., NORWELL W.A. y HENDERSHOT W. (1997): Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: effects of copper levels, pH and organic matter. Water Air Soil Pollut., 100, 133-149.



SAUVÉ S., McBRIDE M.B., y HENDERSHCH

contaminated soils. Environmental Pollut

SAUVÉ S., McBRIDE M.B., y HENDERSHCH

Pb²⁺. Effects of organic matter and pl

618-621.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

SCHLOTFELDT, C. (1998) El ordenamiento territorial ambiental: una tarea factible, Documento Serie Azul 20, Instituto de Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, 66pp.

SCHMIDT, U., 2003. Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. J. Environ. Qual. 32, 1939–1954.

SCHWARTZ, C., ECHEVARRIA, G., MOREL, J.L., 2003. Phytoextraction of cadmium with *Thlaspi caerulescens*. Plant Soil 249, 27–35.

SEMU, E.; SINGH, B.R. 1996. Accumulation of heavy metals in soils and plants after long-term use of fertilizers and fungicides in Tanzania. Fertil. Res. 1996, 44, 241–248.

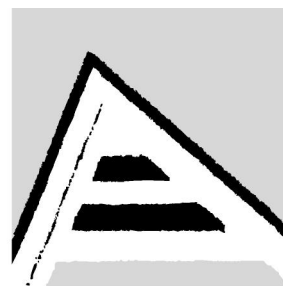
SHEVCHENKO, A.V., I.G. BUDZANIVSKA, T.P. SHEVCHENKO, V.P. POLISCHUK and D. SPAAR. 2004. Plant virus infection development as affected by heavy metal stress. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2004, Vol. 37, pp. 139– 146

SINGH J.P., KARWASRA S. P. S., MAHENDRA SING. (1988). Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. Soil Sci., 146, 359-366.

SINGH. B.H., NARWAL R. P (1984): Plant availability of heavy metals in a sludge-treated soil: II. Metal extractability compared with plant metal uptake. J. Environ. Quality, 13, 344-349.

SIVORI, E. M. Y RESNIK, M. E. (Dir). 1980. Fisiología Vegetal. Primera Edición. Editorial Hemisferio Sur, Argentina.

SIVORI, E.M., E.R. MONTALDI Y O.H. CASO (1980) Fisiología vegetal. Hemisferio Sur, Buenos Aires.



SMITH F.E., ARSENAULT E.A. (1996): *M*
analytical chemistry, Talanta, 43, 1207-1.

SOUMITRA GHOSHROY, KAREN FREEE
CITOVSKY, 1998. Inhibition of plar
concentrations of cadmium. *The Plant Jc*

SPOSITO G. (1981): *The Thermodynamics*
New York.

SPOSITO, G. (1989): *The Chemistry of Soils* (Oxford Univ. Press, New York).

STIGLIANI W.G. (1993): Overview of the Chemical Time Bomb problem in Europe. In:
Meulen G.R.B., Stigliani W.G., Salomons W., Bridges E.M., Imenson A.C. (Eds.)
Chemical time booms. Proceedings of the European State-of-the-art Conference on
Delayed effects of Chemicals in Soils and Sediments. Veldhoven, the Netherlands,
1992. Hoofddorp, the Netherlands, 13-29.

STOBART, A. K., GRIFFITHS, W. T., AMEEN-BUKHARI, I. AND SHERWOOD, R. P.
(1985). The effect of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley.
Plant Physiol. 63, 293-298.

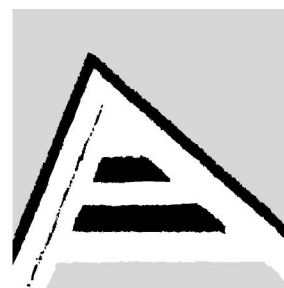
STRAWN D.C., SPARKS D.L. (2000): Effects of soil organic matter on the kinetics and
mechanisms of Pb (II) sorption and desorption in soil. Soil Sci. Society of America
Journal, 64, 144-156.

TAM N.F.Y., YAO M.W.Y. (1999): Three Digestion Methods to Determine Concentrations
of Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, Cr, Mn and Fe in Mangrove Sediments from Sai Keng, Chek
Keng and Sha Tau Kok, Hong Kong, Bulletin of Environmental Contamination and
Toxicology, 62, 708-716.

TERRES, V.; ARTETXE, A.; BEUNZA, A. 1997. Caracterización física de los sustratos
de cultivo. Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.

THEOCHAROPOULOS S.P., WAGNER G., SPRENGART J., MOHR M.-E.,
DESAULES, A., MUNTAU H., QUEVAUVILLER, P. (1998): Harmonization and
quality assurance in sampling and pretreatment of soils. Proceedings of the 16th
World Congress of Soil Science, 20-26/08/1998 in Montpellier, France.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



THEOCHAROPOULOS S.P., WAGNER G., SP
A., MUNTAU H., CHRISTOU M., QUE
sampling guidelines for soil pollution studie
264, 51-62.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

THEOCHAROPOULOS, S. P., WAGNER,
DESAULES, A., CHRISTOU, M. & QUEVAUVILLER, P. (2001b): European soil
sampling guidelines for soil pollution studies. The Science of the Total Environment,
264, 51-62.

TIPPING E., RIEUWERTS J., PAN G., ASHMORE M.R., LOFTS S., HILL M.T.R.,
FARAGO M.E. y THORNTON I. (2003): The solid-solution partitioning of heavy
metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soils of England and Wales. Environmental
Pollution, 125, Issue 2, 213-225.

TSADILAS, C. D.; KARAIVAZOGLOU, N.A.; TSOTSOLIS, N.C.; S. STAMATIADIS AND
V. SAMARAS (2005). Cadmium uptake by tobacco as affected by liming, N form,
and year of cultivation. Environmental Pollution. Volume 134, Issue 2, March 2005,
Pages 239-246

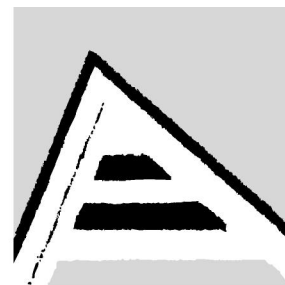
TSADILAS, C.D. (2000) Soil pH influence on cadmium uptake by tobacco in high
cadmium exposure. J. Plant Nutr. 2000, 23, 1167-1178.

TUCKER G.B., BERG W.A. y GENTZ D.H. (1987): Reclaiming mine soils and
overburden in the western United Stated. Analytical parameters and procedures.
R.D. williams y G.E. Schuman (Ed.), 3-26.

URE A. M., QUEVAUVILLER P., MUNTAU H. Y GRIEPING B. (1993): Speciation of
heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and
harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the bcr of
the Commission of the European Communities. Int. J. Environ. Anal. Chem. 51,
135-151.

URE A.M. (1994): Methods of analysis for heavy metals in soils. En heavy metals in
soils" 2nd Edition Ed Bj Alloway, Chapman and Hall. Great Britain. 58-102.

URE A.M. (1996): Single extraction schemes for soils analysis and related applications.
The Science of the Total Environment, 178, 3-10.



URE A.M. y DAVIDSON C.M. (1995): C
Chapman & Hall. Glasgow.

URRESTARAZU, M. 1997. Manual De Cultivo
Universidad de Almería. Almería.

US EPA (2002): Role of Background in the C
Waste and Emergency Response. OSWER 9285.6-07P.

US EPA 3051 (1994): Microwave assisted acid digestion of sludges, sediments, soils
and oils. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.

US-EPA (1996): Soil Screening Guidance, User's Guide. Office of Solid Waste and
Emergency Response. Second Ed.

UTE SINAIE-ITSEMAP AMBIENTAL (1999): Estudio piloto para la determinación de los
niveles de fondo y valores de referencia para metales en los suelos de la provincia
de Valladolid. Conserjería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.

VAN ASSCHE, F, CLIJSTERS, H. (1990) Effect of metals on enzyme activity in plants.
Plant Cell Environ. 3:195-206.

VARVARA, P., et al. (2001). Increase ability of transgenic plants expressing the bacterial
enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn. Department of
biology. University of Waterloo. Ontario, Canadá. N2 L 361.

VÁZQUEZ EDITH (1982) Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana
1982.

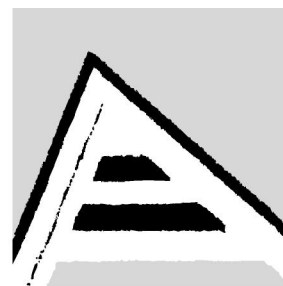
VEGTER J.J. (1995): Soil Protection in the Netherlands. En Heavy Metals. Salomons
W., Forstner U. y Mader P. (Eds). Springer, Berlin.

VIDAL M., TENT J., RAURET G., ROCA M. C., SAURAS T. y VALLEJO V.R. (1994):
Forest soil sampling for pollution assessment. Quim. Anal., 13, S70-S75.

VOGELI-LANGE, R. AND WAGNER, G.J. 1990. Subcellular localization of cadmium
and cadmium-binding peptides in tobacco leaves. Plant Physiol. 92, 1086–1093.

WAGNER G., DESAULES A., MUNTAU H., THEOCHAROPOULOS S., QUEVAU-
VILLER P. (2001a): Harmonisation and quality assurance in pre-analytical steps of
soil contamination studies. Conclusions and recommendations of the CEEM Soil
project, The Science of The Total Environment. 264, 103-118.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



WAGNER G., MOHR M. E., SPRENGART J.,
design of the CEEM soil project. Sci. Total

WAGNER G., SPRENGART J., DESAULES A.,
QUEVAUVILLER P. (1998): Comparativ
sampling and sample preparation of soil
project. Workshop on Soils in Europe. Berlin.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

WAGNER, G., MOHR, M.E., SPRENGART, J., DESAULES, A., THEOCHARO-
POULOS, S., MUNTAU, H., REHNERT, A., LISCHER, P. & QUEVAUVILLER, P.
(2000): Comparative evaluation of European methods for sampling and sample
preparation of soils. Comparative Evaluation of European Methods for Sampling
and Sample Preparation of Soils. The Science of the Total Environment, 264,
204 p.

WAGNER, G., MOHR, M-E., SPRENGART, J., DESAULES, A., MUNTAU, H., THEO-
CHAROPOULOS, S. & QUEVAUVILLER, P. (2001): Objectives, concept and
design of the CEEM soil project. The Science of the Total Environment, 264, 3-15.

WAGNER, G.J.; YERGAN, R. (1986) Variation in Cd accumulation potencial and tissue
distribution of Cd in tobacco. Plant Physiol. 1986, 82, 274–279.

WAGNER, G.J.; YERGAN, R. 1986. Variation in Cd accumulation potential and tissue
distribution of Cd in tobacco. Plant Physiol. 1986, 82, 274–279.

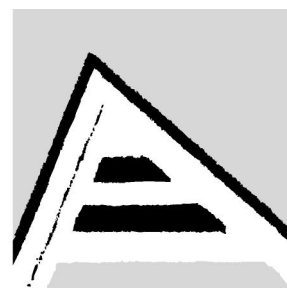
WALKLEY A., BLACK J. A. (1974): A critical examination of rapid method for determining
organic carbon in soils. J. Soil. Sci. 63251-254.

WARD N.I. (1995): Trace elements. Environmental Analytical Chemistry. Ed. by FW
Fifield and P.J. Haines. Capman & Hall.

WENNING R.J., ERICKSON G.A. (1994): Interpretation and analysis of complex
environmental data using chemometric methods. Trend. Anal. Chem., 13, 446-447.

WESCOT, D. W. AND R. S. AYERS (1985). Irrigation water quality. In Pettygrove, G.S.
and T. Asano (eds.) Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater – A Guidance
Manual. Lewis Pub., Inc./CRC Press, Boca Raton, FL.

WILLIAMS L, E., PITTMAN J, K., HALL., J.L. (2000). Emerging mechanisms for heavy
metal transport in plants. Biochimica et Biophysica Acta 1465, 104-126.



XUEYI G. y INOUE K. (2003): Elution of copper by benign reagents. Hydrometallurgy, 70, 155-162.

YAGODIN B. A. (1986) Agroquímica. Edición 1986.

YAMANE, I.; OKAZAKI, M. (1983) Adsorption of heavy metals.

Metals and Environment; Environmental Chemistry Letters, 2, 1-4.

YANZHENG GAO, JIZHENG HE, WANTING LIU, TONG QING HU, YAN LIU (2003).

Effects of organic acids on copper and cadmium desorption from contaminated soils. Environment International, 29, Issue 5, 613-618.

ZOIDO F. y C. VENEGAS (2002) Paisaje y Ordenación del Territorio, Consejería de Obras Públicas y Transporte/ Fundación Duques de Soria, Junta de Andalucía, Sevilla, 353 pp.

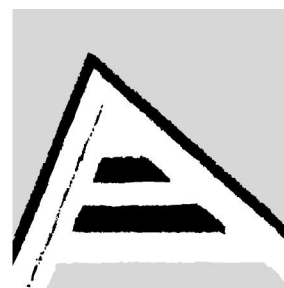
ZONNEVELD, I. S. (1995) Land Ecology, SPB Academic Publication Amsterdam, 199 pp.

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

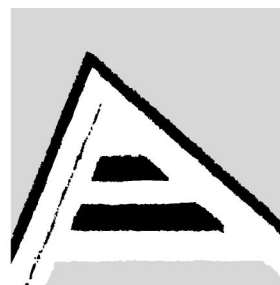
Anexo 01

Base de datos de MapInfo para las cooperativas estudiadas.

CCS	No. Campo	Propietario	Área total	Tabaco	pH	Ca	Mg	K	Na	Valor S	Valor T	Valor V
FB	1	Restituto Acosta	3.80	3.80	4.4	1.200	0.860	0.350	0.040	2.450	5.700	42.982
FB	2	Andrés Rojas	1.80	1.80	5.6	2.360	0.490	0.400	0.040	3.290	6.080	54.112
FB	3	Jorge L. López	3.50	2.67	3.8	1.320	0.980	0.310	0.040	2.650	5.320	49.812
FB	4	Rafael Rodríguez	1.40	1.40	5.0	2.360	0.440	0.400	0.050	3.250	6.080	53.454
FB	5	Caridad Córdova	2.45	2.45	4.8	1.160	0.500	0.230	0.060	1.950	4.180	46.651
FB	6	Alberto Ruiz	1.40	1.40	4.5	1.200	0.210	0.150	0.070	1.630	3.800	42.895
FB	7	Rodolfo Gutiérrez	1.08	1.08	5.8	4.360	0.130	0.480	0.040	5.010	7.220	69.391
FB	8	Evelio Hdez Call.	0.37	0.37	5.1	1.920	0.180	0.310	0.040	2.450	5.320	46.053
FB	9	Pedro L. Vento	3.40	1.75	3.8	1.320	0.530	0.300	0.050	2.200	5.320	41.353
FB	9	Gustavo Vento	1.62	1.62	6.4	4.880	0.680	0.570	0.040	6.170	7.980	77.318
FB	10	Hipólito Vento	2.45	2.45	5.5	3.440	1.470	0.620	0.060	5.590	8.360	66.866
FB	11	Carlos M. López	3.80	3.80	6.0	5.920	0.610	0.860	0.080	7.470	8.800	84.886
FB	12	Santiago Delgado	1.40	1.40	3.8	1.320	0.410	0.270	0.040	2.040	5.320	46.053
FB	13	Isabel Macías	2.65	2.65	4.8	2.360	1.160	0.440	0.080	4.040	7.220	69.391
FB	14	Teverio Álvarez	0.64	0.64	3.8	1.920	0.470	0.350	0.040	2.780	5.320	46.053
FB	16	Secundino Delgado	2.10	1.08	4.0	1.160	0.720	0.310	0.040	2.230	5.320	46.053
FB	17	Ángel Duque	0.40	0.40	4.3	3.560	0.870	0.480	0.040	4.950	7.220	69.391
FB	18	Antonio A. de la C.	3.90	2.40	5.0	3.800	0.170	0.480	0.040	4.490	7.220	69.391
FB	19	Pedro Peral Rguez	1.08	1.08	3.8	1.000	0.370	0.150	0.040	1.560	5.320	46.053
FB	20	Tomás Estévez	7.30	3.10	5.0	3.800	0.740	0.480	0.080	5.100	7.220	69.391
FB	21	José A. Estévez	2.50	2.30	5.6	5.720	0.610	0.710	0.050	7.090	7.220	69.391
FB	22	Francisco Pardo	5.50	4.00	3.6	2.000	0.340	0.310	0.080	2.730	7.220	69.391
FB	23	Antonia Glez	7.55	2.45	4.8	1.760	0.960	0.400	0.080	3.200	7.220	69.391
FB	24	José A. Barrera	4.76	2.56	3.7	1.600	0.260	0.270	0.080	2.210	7.220	69.391
FB	25	José M. Rguez	52.30	1.40	4.4	2.640	0.080	0.400	0.040	3.160	7.220	69.391
FB	26	Lugarda Villafranca	5.00	0.75	3.6	1.680	0.060	0.270	0.080	2.090	7.220	69.391

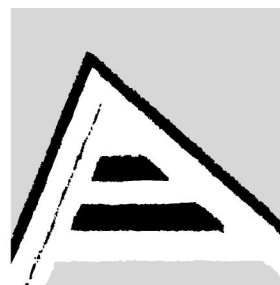


Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

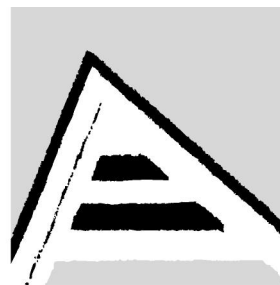
FB	27	Félix García	5.65	3.55	3.9	2.560	1.620	0.480	0.060	4.720	6.840	69.006
FB	28	Carlos Martínez	1.45	1.45	3.7	1.160	1.140	0.310	0.070	2.680	5.320	50.376
FB	29	Mario L. Rguez	4.12	1.62	3.7	1.600	0.270	0.270	0.040	2.180	4.560	47.807
FB	30	Modesto Abascal	5.05	4.05	4.0	1.000	0.600	0.270	0.050	1.920	4.560	42.105
FB	31	Luis E. Hdez	2.50	1.40	3.9	1.760	0.250	0.310	0.060	2.380	5.320	44.737
FB	32	José R. Glez	1.62	1.62	6.4	5.520	0.330	0.610	0.070	6.530	8.360	78.110
FB	33	Juan B. Rguez	3.80	2.70	4.4	3.000	0.290	0.400	0.040	3.730	6.460	57.740
FB	34	Rubén Travieso	1.40	1.40	3.6	1.760	0.100	0.270	0.050	2.180	4.940	44.130
FB	35	Raúl Policarpio	2.10	2.10	5.6	3.800	0.820	0.520	0.080	5.220	7.600	68.684
FB	36	Luis A. Rodríguez	2.60	1.40	3.8	1.600	0.230	0.310	0.040	2.180	5.320	40.977
FB	37	Eduardo Piñero	3.80	1.90	3.9	1.920	0.090	0.310	0.050	2.370	5.320	44.549
FB	38	Julían González	7.01	3.80	4.2	1.320	0.320	0.270	0.080	1.990	4.940	40.283
FB	39	Eusebio M. Delgado	2.95	0.95	3.9	1.960	0.800	0.400	0.060	3.220	6.080	52.961
FB	40	Leonardo Delgado	1.08	1.08	4.6	4.200	0.720	0.520	0.040	5.480	7.600	72.105
FB	41	Rigoberto Serrano	1.80	1.80	4.1	2.200	1.280	0.440	0.080	4.000	6.460	61.920
FB	42	Caridad Domínguez	1.35	0.85	4.3	2.760	0.720	0.440	0.040	3.960	6.460	61.300
FB	43	Caridad León	2.15	1.90	4.0	2.200	0.330	0.350	0.040	2.920	5.700	51.228
FB	44	Josefa Hernández	1.90	1.90	3.7	1.220	0.150	0.190	0.040	1.600	4.180	38.278
FB	45	Lucrecia Quintana	0.85	0.85	5.8	4.600	0.250	0.520	0.040	5.410	7.600	71.184
FB	46	Efraín Hernández	0.54	0.54	3.9	1.400	0.140	0.190	0.040	1.770		
FB	47	Tomás E. Núñez	1.25	1.25	3.8	1.360	0.320	0.230	0.040	1.950		
FB	48	Creciliano Borrosco	1.86	0.86	4.7	1.960	0.760	0.400	0.080	3.200		
FB	49	Evelio Hernández	2.25	1.25	4.0	2.320	0.030	0.310	0.040	2.700		
FB	50	Félix Baloy	3.08	1.08	4.1	2.960	1.330	0.480	0.040	4.810		
FB	51	Juan M. Marín	1.82	0.82	5.4	3.240	0.510	0.440	0.040	4.230		
FB	52	Eventeria Villaf.	1.64	0.54	4.1	4.560	0.910	0.570	0.080	6.120		
FB	53	Esmel Ramos	0.95	0.95	5.7	3.680	1.020	0.520	0.080	5.300		
FB	54	Esmel Ramos	0.45	0.45	3.7	1.920	0.500	0.350	0.050	2.820		
FB	55	Antonio Hdez Glez	3.10	3.10	5.5	5.200	0.380	0.620	0.040	6.240		
FB	56	Eloy Maragoto	2.60	1.40	4.0	2.280	0.290	0.400	0.040	3.010		
FB	56a	Iluminada Maragoto	1.40	1.40	4.0	2.280	0.290	0.400	0.040	3.010		
FB	57	José M. Dmguez	2.26	0.86	4.2	1.960	0.340	0.310	0.060	2.670		
FB	58	Esteban García	1.75	0.75	5.5	7.120	0.680	1.420	0.080	9.300		



Universitat d'Alacant

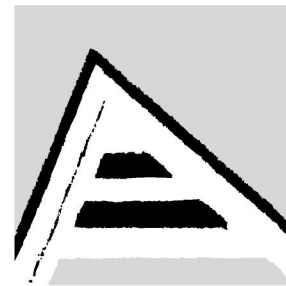
Universidad de Alicante

FB	59	José L. Díaz	2.62	1.62	3.7	1.760	0.290	0.270	0.070	2.390	5.320	44.925
FB	60	Julia Pruna	3.91	1.51	7.3	6.700	1.250	0.900	0.050	8.900	10.300	86.408
FB	61	Evercio Florentino	0.95	0.95	6.5	5.960	0.430	0.810	0.040	7.240	8.730	82.932
FB	62	Maria A. Hdez	0.64	0.64	4.4	1.480	0.900	0.350	0.060	2.790	5.700	48.947
FB	63	Orlando Peña	2.70	2.70	4.5	4.920	0.210	0.570	0.060	5.760	7.980	72.180
FB	64	Olga S. Hdez	6.46	2.45	5.5	3.800	0.460	0.480	0.080	4.820	6.840	70.468
FB	65	Alberto Gelasio	3.95	1.95	4.6	2.920	0.670	0.440	0.080	4.110	6.460	63.622
FB	66	Félix Villafranca	1.81	1.81	3.7	1.360	0.330	0.190	0.040	1.920	3.800	50.526
FB	67	Ignacio Oliva	2.40	1.90	3.9	2.160	0.120	0.310	0.040	2.630	5.700	46.140
FB	68	Lázaro Martínez	1.58	1.58	4.0	2.400	0.080	0.400	0.080	2.960	6.080	48.684
FB	69	Benito Chico	0.27	0.27	3.8	2.960	0.260	0.440	0.070	3.730	6.460	57.740
FB	70	Estedia Milán	2.30	0.40	5.7	5.200	0.230	0.570	0.080	6.080	7.980	76.190
FB	71	Ricardo Rivera	9.52	1.75	5.3	4.440	0.280	0.520	0.040	5.280	7.220	73.130
FB	72	Jesús Rivera	1.48	1.48	7.0	5.400	0.900	0.710	0.040	7.050	8.360	84.330
FB	72	Miguel Rivera	2.05	1.05	3.4	1.000	0.500	0.270	0.050	1.820	4.180	43.541
FB	73	Escolástico Borges	25.98	5.67	3.4	0.960	0.370	0.150	0.060	1.540	3.800	40.526
FB	73	Leonardo Vega	1.35	1.35	3.8	1.560	0.250	0.270	0.080	2.160	4.940	43.725
FB	74	Leonel Delgado	4.85	1.35	3.6	2.760	1.560	0.480	0.080	4.880	6.840	71.345
FB	75	Antonio Delgado	3.63	1.08	3.6	2.000	0.020	0.270	0.050	2.340	4.940	47.368
FB	75	CPA Antonio Guiteras	98.79	36.23	4.3	3.720	1.140	0.570	0.040	5.470		
FB	78	Josefa Hdez	2.33	-	3.8	1.320	0.980	0.270	0.040	2.610		
FB	79	Hilario Amador	1.01	-	3.8	1.000	0.370	0.440	0.040	1.850		
FB	80	Carlos García	0.42	-	3.8	1.000	0.370	0.440	0.040	1.850		
FB	81	Luis Rguez Vento	2.90	-	4.3	2.160	0.380	0.310	0.040	2.890		
TL	1	Guillermo Rguez	3.19	0.89	5.3	6.200	0.800	0.520	0.060	7.580		
TL	2	Guillermo Rguez	1.62	1.62	4.0	2.720	0.590	0.190	0.080	3.580		
TL	3	Osirio Yon Puentes	0.89	0.89	5.2	5.040	0.840	0.440	0.070	6.390		
TL	4	Tomas Rguez	2.10	1.10	4.2	2.800	1.900	0.350	0.080	5.130		
TL	5	Felix Rguez Barrera	1.81	0.81	3.8	1.040	1.310	0.150	0.080	2.580		
TL	6	Fidel Yon Padrino	1.68	0.81	4.2	2.800	1.900	0.400	0.080	5.180		
TL	7	Santiago Barrera	1.09	0.59	6.5	2.560	1.670	0.330	0.080	4.640		
TL	8	Pedro González	1.00	1.00	4.7	4.640	1.630	0.450	0.050	6.770		
TL	9	Alberto Véliz	1.75	1.35	4.0	2.240	1.680	0.230	0.060	4.210		



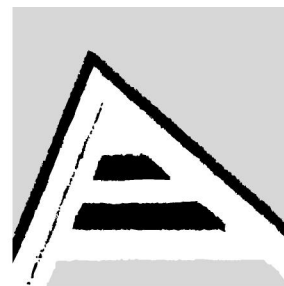
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TL	10	Justo Díaz	0.62	0.62	4.0	2.800	1.900	0.400	0.050	5.150	8.230	62.576
TL	11	Maximiliano Barrera	1.08	1.08	4.2	2.800	0.960	0.230	0.060	4.050	6.660	60.811
TL	12	Enrique Rguez	2.16	2.16	4.3	2.560	1.360	0.270	0.080	4.270	7.060	60.482
TL	13	Maximiliano Barrera	1.02	1.02	4.9	2.320	0.960	0.190	0.070	3.540	5.480	64.599
TL	14	Lázaro Veliz	1.35	1.35	4.8	1.920	0.820	0.190	0.040	2.970	5.480	54.197
TL	15	José M. Martínez	3.56	3.56	4.0	2.320	0.600	0.190	0.050	3.160	5.480	57.664
TL	16	Juana Fernández	8.91	2.16	4.2	3.800	1.080	0.400	0.060	5.340	8.230	64.885
TL	17	Joaquín E. Cevallos	2.83	1.83	5.4	3.200	0.320	0.230	0.080	3.830	6.270	61.085
TL	18	Ricelo Torres	1.70	1.70	5.3	2.320	1.990	0.270	0.050	4.630	7.060	65.581
TL	19	Osirio Torres	2.21	2.21	4.2	2.000	1.010	0.190	0.060	3.260	5.480	59.489
TL	20	Joaquín E. Cevallos	0.43	0.43	4.3	2.000	0.750	0.190	0.080	3.020	5.480	55.109
TL	21	Antonio Acosta	2.16	2.16	5.0	3.200	0.690	0.270	0.080	4.240	6.660	63.664
TL	22	Denis R. Torres	1.48	1.48	4.8	3.640	1.410	0.400	0.070	5.520	8.230	67.072
TL	23	Emelina C. López	0.54	0.54	5.3	2.960	0.740	0.230	0.060	3.990	6.660	59.910
TL	24	Serguei Peña	1.48	1.48	5.5	5.520	0.750	0.480	0.050	6.800	8.700	78.161
TL	25	Javier Díaz	1.35	1.35	4.7	3.200	0.690	0.230	0.050	4.170	6.660	62.613
TL	26	Julio Iglesias	1.35	1.35	4.5	2.880	1.430	0.310	0.060	4.680	7.060	66.289
TL	27	Félix de la Nuez	0.54	0.54	6.5	5.040	0.440	0.400	0.080	5.960	8.230	72.418
TL	28	Ramón González	0.75	0.75	4.1	2.400	1.520	0.270	0.060	4.250	7.060	66.289
TL	29	Juan J. Fernández	1.62	0.62	4.7	2.800	0.900	0.230	0.050	3.980	8.230	72.418
TL	30	Ricelo Torres	0.91	0.91	5.3	2.320	1.990	0.310	0.060	4.680	7.060	66.289
TL	31	Felix Pérez	0.27	0.27	4.2	3.360	1.010	0.310	0.070	4.750	7.060	66.289
TL	32	Ramón Hernández	0.81	0.81	4.7	5.500	1.630	0.520	0.080	7.730	8.230	72.418
TL	33	Marcelo Hernández	5.20	5.20	5.0	3.280	1.810	0.400	0.050	5.540	7.060	66.289
TL	34	Ignacio Rivero	0.67	0.67	4.4	3.120	0.900	0.270	0.080	4.370	7.060	66.289
TL	35	Carlos Blanco	1.35	1.35	5.2	3.600	0.670	0.350	0.080	4.700	7.060	66.289
TL	36	Armando Rguez	1.08	1.08	4.9	4.480	1.000	0.440	0.060	5.980	7.060	66.289
TL	37	Santiago Delgado	2.02	1.02	5.3	6.000	1.720	0.620	0.080	8.420	7.060	66.289
TL	38	Caridad Díaz	1.35	1.35	7.0	6.300	1.070	0.570	0.070	8.010	7.060	66.289
TL	39	Esperanza Betancourt	2.62	2.62	4.5	3.120	1.010	0.270	0.050	4.450	7.060	66.289
TL	40	Daniel Corrales	1.62	1.62	5.2	4.280	1.380	0.440	0.060	6.160	7.060	66.289
TL	41	Jorge L. Guerra	1.89	1.89	4.4	3.760	0.550	0.350	0.040	4.700	7.060	66.289
TL	42	Fernando Cabeza	1.35	1.35	5.2	5.400	0.260	0.480	0.050	6.190	7.060	66.289



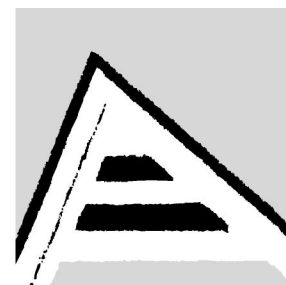
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TL	43	Carlos Cabeza	2.30	2.30	5.3	5.360	0.520	0.480	0.060	6.420	9.010	71.254
TL	44	Rolando Acosta	2.16	2.16	4.8	3.600	1.490	0.400	0.070	5.560	8.230	67.558
TL	45	Nidia Díaz	0.75	0.75	4.5	3.600	0.710	0.400	0.050	4.760	8.140	58.477
TL	46	Mateo Carrodegua	0.94	0.94	4.2	2.400	1.910	0.350	0.080	4.740	7.840	60.459
TL	47	Julio Carrodegua	0.94	0.94	4.5	4.000	0.310	0.350	0.060	4.720	7.840	60.204
TL	48	Oslirio Aguiar	1.54	1.54	6.4	5.640	1.490	0.520	0.080	7.730	10.190	75.859
TL	49	José C. González	1.35	1.35	6.7	7.600	0.840	0.620	0.070	9.130	10.700	85.327
TL	50	Carlos Duarte	1.35	1.35	6.9	7.800	1.360	0.950	0.050	10.160	12.930	78.577
TL	51	Elio L. Rguez	0.67	0.67	6.3	7.200	1.240	0.760	0.080	9.280	11.360	81.690
TL	52	Rodolfo Macias	1.62	1.62	6.4	7.000	1.400	0.710	0.060	9.170	10.970	83.592
TL	53	Mateo Peña	2.16	2.16	5.4	3.240	1.240	0.350	0.080	4.910	7.840	62.628
TL	54	Ramón Suárez	1.64	1.64	5.7	6.120	0.480	0.480	0.080	7.160	9.400	76.170
TL	55	Mateo Peña	4.40	4.40	5.3	5.480	0.690	0.480	0.080	6.730	9.400	71.596
TL	56	Elvira M. Escobar	8.58	6.08	4.9	4.120	0.210	0.330	0.050	4.710	7.440	63.306
TL	57	Máximo Suárez	2.85	2.35	6.1	5.320	1.240	0.520	0.060	7.140	9.800	72.857
TL	58	Julia Alberto	1.35	1.35	6.0	5.760	0.510	0.480	0.080	6.830	9.400	72.660
TL	59	Fernando Guerra	0.97	0.97	5.0	4.280	0.320	0.400	0.080	5.080	8.230	61.725
TL	60	Fernando Guerra	0.84	0.84	5.3	5.520	0.750	0.520	0.040	6.830	9.800	69.694
TL	61	Alberto Trujillo	3.35	2.43	5.0	5.000	1.050	0.500	0.040	6.590	9.800	69.694
TL	62	Daniel Gómez	7.87	4.97	4.9	3.520	0.690	0.350	0.080	4.640	9.800	69.694
TL	63	Jorge L. Cabrera	1.89	1.89	4.6	5.200	0.680	0.440	0.080	6.400	9.800	69.694
TL	64	Pedro Guerra	1.89	1.89	5.4	5.600	0.280	0.440	0.080	6.400	9.800	69.694
TL	65	Aniceto P. Suárez	1.75	1.75	4.1	2.560	0.960	0.230	0.080	3.830	9.800	69.694
TL	66	Gustavo Valdez	2.97	0.67	3.9	2.000	0.740	0.190	0.040	2.970	9.800	69.694
TL	67	Ramón Suárez	0.62	0.62	5.2	4.560	0.510	0.400	0.050	5.520	9.800	69.694
TL	68	Luisa González	2.01	0.81	4.5	4.100	0.510	0.350	0.060	5.020	9.800	69.694
TL	69	Flores Rodríguez	4.05	0.67	4.2	2.560	1.360	0.270	0.080	4.270	9.800	69.694
TL	70	Jesús Peláez	4.94	2.70	5.3	4.240	1.030	0.440	0.040	5.750	9.800	69.694
TL	71	Julio Carrodegua	5.28	1.67	5.1	5.200	1.010	0.480	0.080	6.770	9.800	69.694
TL	72	Gerardo Carrodegua	0.94	0.94	4.4	4.240	1.640	0.440	0.080	6.400	9.800	69.694
TL	73	Pedro Montpellier	0.67	0.67	4.7	5.440	1.190	0.480	0.080	7.190	9.800	69.694
TL	74	Gerardo Carrodegua	2.70	0.40	4.9	7.400	1.280	0.770	0.080	9.530	9.800	69.694
TL	75	Fernando Iglesias	4.11	1.91	7.4	7.400	1.750	1.000	0.050	10.200	9.800	69.694



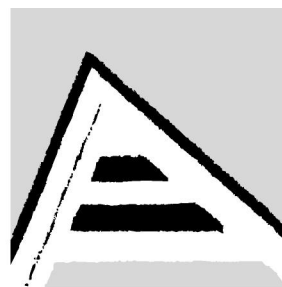
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TL	76	Juan Bruno Iglesias	1.35	1.35	3.8	1.760	0.980	0.190	0.040	2.970	5.480	54.197
TL	77	Antonio Acosta	1.08	1.08	4.2	4.000	0.700	0.400	0.040	5.140	7.840	65.561
TL	90	Evaristo Mompeller	4.30	-	5.7	2.850	1.010	0.270	0.080	4.210	5.300	79.434
TL	91	Conrado Peraza	1.26	-	5.6	2.620	1.250	0.270	0.080	4.220	5.210	80.998
TL	92	Juan Ordaz Cruz	8.24	-	5.5	2.400	0.690	0.270	0.080	3.440	4.920	69.919
TL	93	Adelo Gómez	6.45	-	4.9	2.600	0.690	0.190	0.080	3.560	5.100	69.804
TL	94	Pedro C. Brito	1.69	-	4.2	2.400	1.010	0.250	0.040	3.700	6.020	61.462
TL	95	Juan J. Villar	3.57	-	4.1	2.300	1.010	0.250	0.040	3.600	6.000	60.000
TL	96	Fernando García	6.73	-	4.9	1.960	0.790	0.150	0.040	2.940	5.360	54.851
TL	97	Pablo P. Lezcano	1.50	-	4.8	1.940	0.790	0.150	0.080	2.960	5.480	54.015
TL	98	Reinaldo García	2.90	-	4.7	1.960	0.690	0.150	0.100	2.900	5.860	49.488
TL	99	Guillermo Ilanes	1.71	-	4.8	2.320	1.040	0.250	0.100	3.710	6.540	56.728
TL	100	Bienvenido López	1.23	-	5.9	3.800	1.040	0.270	0.080	5.190	7.060	73.513
TL	101	Mariana Hdez	1.44	-	5.9	3.240	0.070	0.150	0.030	3.490	5.880	59.354
TL	102	Ricardo Cabrera	0.78	-	4.3	5.200	0.760	0.190	0.160	6.310	9.010	70.033
TL	103	Márgaro Peña	1.47	-	4.8	3.000	0.690	0.150	0.080	3.920	6.000	65.333
TL	104	Alfredo de la Nuez	0.60	-	5.3	2.960	0.740	0.440	0.160	4.300	5.090	84.479
TL	105	Caridad Echevarria	0.61	-	4.9	2.600	0.740	0.250	0.100	3.690	5.650	65.310
TL	106	Juan José Hdez	1.40	-	4.7	2.650	0.820	0.150	0.100	3.720	5.700	65.263
TL	107	Santiago Cruz	2.13	-	4.8	2.750	0.600	0.250	0.080	3.680	-	-
TL	108	Osirio Izquierdo	0.56	-	4.8	3.000	0.690	0.200	0.100	3.990	-	-
TL	109	Pedro Acosta	5.90	-	5.8	3.540	1.010	0.250	0.040	4.840	-	-
TL	110	Mariano Cabrera	2.79	-	5.6	3.700	0.970	0.480	0.040	5.190	-	-
TL	111	René Peña	10.77	-	4.9	2.500	0.870	0.740	0.040	4.150	-	-
TL	112	Esterbina García	6.33	-	5.4	2.950	1.000	0.480	0.050	4.480	-	-
TL	113	Alejandro Padrón	26.49	-	5.7	2.950	1.000	0.480	0.030	4.460	-	-
TL	114	Julio Carrodegua	6.38	-	5.5	2.540	1.040	0.250	0.040	3.870	-	-
TV	1	Osvaldo López	0.81	0.81	4.8	2.720	0.120	0.350	0.080	3.270	-	-
TV	2	Santiago Cruz	4.32	4.32	4.3	2.880	0.230	0.460	0.080	3.650	-	-
TV	3	Segundo Concha	2.56	2.56	6.0	5.200	0.600	0.690	0.080	6.570	-	-
TV	4	Engracio Cruz	2.21	2.21	5.5	4.560	0.350	0.670	0.080	5.660	-	-
TV	5	Leonardo Benítez	1.37	1.37	4.3	2.700	0.690	0.480	0.080	3.950	-	-
TV	7	Loreto Márquez	1.35	1.35	4.4	2.700	0.460	0.480	0.080	3.720	-	-



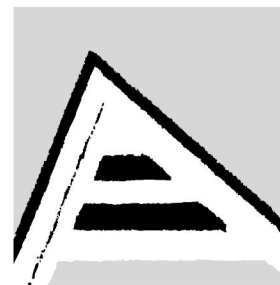
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TV	8	Vicente Valdés	2.70	2.70	4.3	2.800	0.230	0.450	0.080	3.560	6.080	58.553
TV	10	Esteban Márquez	1.24	1.24	3.9	1.000	0.310	0.190	0.040	1.540	4.920	31.301
TV	11	Armando Morejón	0.67	0.67	5.3	8.000	0.620	0.830	0.060	9.510	14.420	65.950
TV	12	Umbelina Morejón	0.43	0.43	3.9	1.000	0.220	0.150	0.040	1.410	4.150	33.976
TV	13	Juana Morejón	1.78	1.78	4.5	2.080	0.790	0.360	0.080	3.310	6.000	55.167
TV	14	Osmany Morejón	0.94	0.94	4.4	2.400	0.310	0.350	0.080	3.140	5.400	58.148
TV	15	Pablo Padrino	4.05	4.05	5.9	2.640	0.350	0.370	0.080	3.440	6.000	57.333
TV	16	Juan C. Rguez	1.08	1.08	5.5	2.680	0.930	0.480	0.050	4.140	7.100	58.310
TV	17	Mario Suárez	0.40	0.40	4.0	6.400	0.640	0.710	0.080	7.830	9.600	81.563
TV	18	Juan Camejo Guev.	0.81	0.81	4.0	2.380	0.590	0.460	0.080	3.510	6.080	57.730
TV	19	Sixto Camero	0.81	0.81	5.3	1.880	0.610	0.250	0.080	2.820	5.320	53.008
TV	20	Cándido Caraballo	0.40	0.40	5.1	1.400	0.310	0.210	0.040	1.960	4.940	39.676
TV	21	Pedro Concha P.	2.16	2.16	4.9	2.000	0.590	0.300	0.080	2.970	5.320	55.827
TV	22	Adela Acosta	7.50	1.10	4.8	1.400	0.620	0.210	0.040	2.270	5.320	42.669
TV	23	Bábaro Morejón	2.08	1.08	4.9	2.380	0.620	0.400	0.040	3.440	6.020	57.143
TV	24	Juan M. Barrera	3.15	3.15	4.0	2.280	0.110	0.350	0.080	2.820	5.400	52.222
TV	25	Rodolfo Hdez	4.40	1.90	4.7	2.680	0.170	0.400	0.080	3.330	6.080	54.770
TV	26	Segundo Vera	8.18	3.18	4.8	1.400	0.580	0.210	0.040	2.230	5.320	41.917
TV	27	Andrés Forteza	4.98	1.48	5.8	3.520	0.250	0.480	0.070	4.320	7.260	59.504
TV	28	Vicente Duarte	2.50	1.70	3.9	1.160	0.120	0.150	0.050	1.480		
TV	29	Alfredo Valdés	6.12	1.62	5.8	3.880	0.490	0.600	0.060	5.030		
TV	30	Lucilo Vera	7.00	2.18	5.5	2.680	0.930	0.480	0.070	4.160		
TV	31	Ramón Gil Álvarez	7.50	2.56	4.0	2.480	0.490	0.460	0.080	3.510		
TV	32	Daniel Cáceres	14.50	1.70	5.8	3.520	0.350	0.480	0.050	4.400		
TV	33A	Humberto Álvarez	11.94	3.37	4.3	2.880	0.460	0.480	0.060	3.880		
TV	33B	Antonio Álvarez	2.02	2.02	4.3	2.010	1.140	0.400	0.080	3.630		
TV	33C	Gerardo Álvarez	2.02	2.02	5.1	2.690	1.020	0.480	0.080	4.270		
TV	34	Roberto García	8.47	0.67	5.1	3.000	0.700	0.480	0.080	4.260		
TV	35	Carlos Valladares	2.08	1.08	5.2	3.250	0.850	0.560	0.080	4.740		
TV	36	Leonardo Valladar.	0.43	0.43	4.9	2.320	0.250	0.230	0.040	2.840		
TV	37	Lázaro M. Quint.	1.35	1.35	5.3	3.000	0.690	0.480	0.050	4.220		
TV	38	UBPC Tabarico	18.10	18.10	5.0	3.200	0.880	0.600	0.060	4.740		
TV	39	UBPC Tabarico	20.13	20.13	5.0	4.180	0.430	0.600	0.070	5.280		



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

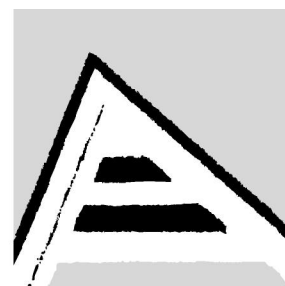
TV	40	Dulce Rodríguez	2.83	-	5.0	2.140	0.670	0.480	0.080	3.370	6.540	51.529
TV	41	Alfonso Valladares	3.91	-	5.0	1.180	0.670	0.480	0.080	2.410	6.300	38.254
TV	42	Pedro Silva med.	4.49	-	5.0	1.180	0.460	0.240	0.100	1.980	6.100	32.459
TV	43	Ramón Morejón	1.70	-	5.1	1.700	0.360	0.240	0.100	2.400	7.200	33.333
TV	44	Marcelino Benítez	2.11	-	5.1	2.880	0.670	0.480	0.100	4.130	7.400	55.811
TV	45	Humberto Acosta	0.68	-	5.5	2.680	0.980	0.480	0.160	4.300	6.080	70.724
TV	46	Alejandro Barceló	3.57	-	5.5	2.140	0.600	0.380	0.080	3.200	6.100	52.459
TV	47	Esequiel Moreno	0.60	-	4.0	2.280	0.110	0.480	0.080	2.950	5.320	55.451
TV	48	Alejandro Morejón	1.24	-	5.8	3.020	0.650	0.220	0.080	3.970	4.900	81.020
TV	49	Moisés Blanco	4.32	-	5.9	2.980	0.690	0.350	0.160	4.180	5.100	81.961
TV	50	Juana M. Trujillo	2.10	-	5.7	3.020	0.690	0.350	0.100	4.160	5.200	80.000
TV	51	Fernando Hdez	0.69	-	4.3	2.880	0.230	0.480	0.080	3.670	7.980	45.990
TV	52	Lorenzo Nieves	0.71	-	5.4	3.250	0.820	0.350	0.040	4.460	5.900	75.593
TV	53	Alberto Montano	0.22	-	5.3	3.400	0.800	0.250	0.040	4.490	5.800	77.414
TV	54	Prudencio León	0.39	-	5.6	3.100	0.790	0.250	0.040	4.180	5.250	79.619
TV	56	Zoraida Álvarez	5.78	-	5.7	2.950	0.690	0.150	0.080	3.870	4.950	78.182
TV	58	Leonardo Benítez	51.00	51.00	5.6	3.600	0.690	0.500	0.080	4.870	7.600	64.079



Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

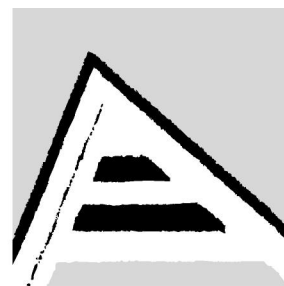
CCS	No. Campo	K ₂ O	P ₂ O ₅	Materia orgánica	Humedad higroscópica	Categoría agroprod.	TIPO	Sub Tipo	Material basal	Saturación
FB	1	21.800	19.100	0.910	2.100	I	1	1	1	1
FB	2	26.400	21.000	1.220	2.400	II	1	1	1	2
FB	3	19.000	17.500	0.760	1.000	II	1	1	1	2
FB	4	23.700	20.000	1.070	1.900	II	1	1	1	2
FB	5	13.300	15.000	0.610	1.400	II	1	1	1	2
FB	6	10.900	12.000	0.450	1.200	II	1	1	1	2
FB	7	29.400	24.700	1.530	1.700	II	1	1	1	2
FB	8	19.900	17.500	0.760	2.000	I	1	1	1	1
FB	9	18.500	16.700	0.760	2.000	II	1	1	1	2
FB	9	38.900	28.500	1.680	2.000	II	1	1	1	2
FB	10	41.800	30.400	1.830	2.100	I	1	1	1	1
FB	11	47.500	37.100	1.980	2.200	II	1	1	1	2
FB	12	16.000	15.000	0.610	1.700	II	1	1	1	2
FB	13	27.800	22.800	1.370	2.200	II	1	1	1	2
FB	14	21.800	19.200	0.910	1.300	II	1	1	1	2
FB	16	18.500	16.700	0.760	1.100	I	4	2	2	2
FB	17	28.500	23.700	1.500	2.200	I	4	2	2	2
FB	18	28.500	23.800	1.530	2.700	II	2	1	1	2
FB	19	10.900	13.000	0.450	1.700	II	4	3	3	2
FB	20	28.700	23.800	1.530	2.700	II	2	1	1	2
FB	21	41.800	36.200	1.980	2.200	II	2	1	1	2
FB	22	20.900	19.100	0.910	2.200	II	2	1	1	2
FB	23	25.800	21.000	1.220	1.700	II	1	1	1	2
FB	24	16.100	15.000	0.610	1.200	II	2	1	1	2
FB	25	26.400	21.000	1.220	2.600	II	3	1	4	2
FB	26	18.000	15.800	0.760	1.400	II	2	1	1	2
FB	27	28.500	22.800	1.370	1.700	II	2	1	1	2
FB	28	20.400	19.100	0.910	2.200	II	2	1	1	2
FB	29	15.700	15.000	0.610	2.200	II	2	1	1	2
FB	30	15.200	15.000	0.610	2.200	II	2	1	1	2



Universitat d'Alacant

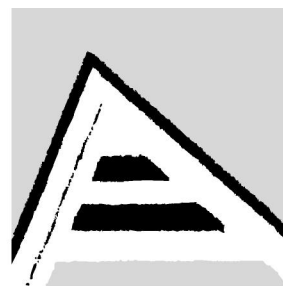
Universidad de Alicante

TV	7	31.300	19.200	1.020	1.700	I	2	1	2	2	1	2
TV	8	30.000	18.300	0.970	1.800	I	2	1	2	2	1	2
TV	10	21.800	12.000	0.300	1.800	II	4	2	2	3	1	2
TV	11	47.400	34.300	1.980	2.900	II	4	2	2	3	1	2
TV	12	20.100	10.000	0.150	1.700	I	2	1	1	1	2	2
TV	13	27.000	17.500	0.760	1.300	I	2	1	1	2	2	2
TV	14	26.000	17.000	0.760	1.600	II	4	2	2	3	1	2
TV	15	27.000	18.000	0.800	2.400	I	2	1	1	2	2	2
TV	16	32.100	19.300	1.040	2.400	I	2	1	1	2	2	2
TV	17	46.300	31.000	1.680	2.000	II	4	2	2	3	1	2
TV	18	30.000	19.000	1.000	2.200	II	4	2	2	3	1	2
TV	19	25.200	15.800	0.610	2.000	II	4	2	2	3	1	2
TV	20	22.000	14.000	0.300	1.300	I	2	1	1	2	2	2
TV	21	26.000	15.800	0.760	1.500	I	2	1	1	2	2	2
TV	22	23.600	14.000	0.500	1.600	II	4	2	2	3	1	2
TV	23	27.400	18.000	0.900	1.700	II	4	2	2	3	1	2
TV	24	26.000	16.600	0.760	1.000	II	4	2	2	3	1	2
TV	25	27.800	18.000	0.970	1.200	II	2	1	1	2	2	2
TV	26	22.500	14.000	0.450	1.400	II	2	1	1	2	2	2
TV	27	36.300	21.000	1.070	1.200	II	4	2	2	3	1	2
TV	28	21.000	10.000	0.300	1.700	II	2	1	1	2	2	2
TV	29	45.600	26.700	1.530	1.200	II	2	1	1	2	2	2
TV	30	33.000	20.000	1.070	1.200	II	2	1	1	2	2	2
TV	31	31.000	19.200	1.010	1.400	II	2	1	1	2	2	2
TV	32	34.000	21.000	1.070	1.600	II	4	2	2	3	1	2
TV	33A	36.500	21.000	1.220	1.900	I	2	1	1	2	2	2
TV	33B	29.000	18.300	0.970	1.700	II	4	2	2	3	1	2
TV	33C	38.100	22.000	1.370	1.400	II	4	2	2	3	1	2
TV	34	36.000	21.000	1.070	1.400	I	2	1	1	2	2	2
TV	35	40.200	25.700	1.450	1.300	I	2	1	1	2	2	2
TV	36	24.000	15.000	0.610	1.200	I	2	1	1	2	2	2
TV	37	32.000	19.200	1.040	1.800	I	2	1	1	2	2	2



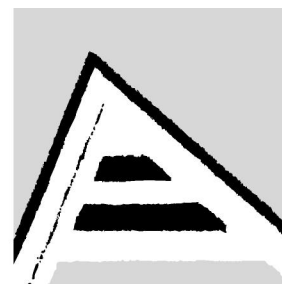
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TV	38	41.000	26.000	1.530	1.700	II	4	2	3	1
TV	39	45.800	29.000	1.530	2.300	I	2	1	1	2
TV	40	15.200	15.000	1.200	1.400	I	2	1	1	2
TV	41	14.000	16.200	2.010	1.800	I	2	1	1	2
TV	42	13.000	16.200	1.250	1.700	I	2	1	1	2
TV	43	17.200	21.000	0.690	1.600	I	2	1	1	2
TV	44	14.300	20.000	0.690	1.700	I	2	1	1	2
TV	45	31.300	10.000	0.610	1.200	II	2	1	1	2
TV	46	26.200	33.000	2.210	1.900	II	2	1	1	2
TV	47	20.100	18.300	1.530	1.000	II	4	2	3	1
TV	48	15.400	19.000	0.600	1.300	II	4	2	3	1
TV	49	18.300	21.000	0.900	1.300	II	4	2	3	1
TV	50	24.200	18.000	1.020	1.400	II	4	2	3	1
TV	51	39.900	17.500	1.070	1.700	II	4	2	3	1
TV	52	25.000	23.000	0.800	1.400	II	4	2	3	1
TV	53	30.000	16.000	0.970	1.500	II	4	2	3	1
TV	54	16.000	16.000	1.040	1.500	II	4	2	3	1
TV	56	18.000	14.000	1.040	1.300	II	4	2	3	1
TV	58	39.900	25.000	1.370	1.800	I	2	1	1	1



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

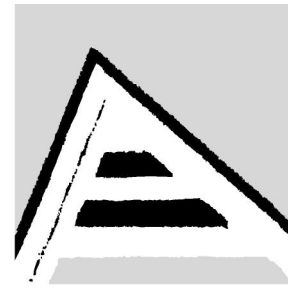
CCS	No. Campo	Profundidad	Humificación	Erosión	Textura	Contenido grava	Profundidad efectiva	Pen-diente	Rendimiento Histórico	Producción	Rendimiento potencial	Producción según RMP
FB	1	2	1	2	1	1	40.0	1	240.0	59.46	270.0	49.10
FB	2	2	2	4	1	5	30.0	3	240.0	28.16	270.0	36.21
FB	3	2	2	4	1	5	30.0	3	230.0	52.72	270.0	70.41
FB	4	2	2	4	1	5	30.0	3	240.0	29.73	270.0	53.71
FB	5	2	2	4	1	5	30.0	3	200.0	41.98	270.0	49.29
FB	6	2	2	3	1	4	35.0	3	200.0	30.25	270.0	28.16
FB	7	2	2	4	1	5	30.0	3	265.0	19.31	270.0	21.73
FB	8	2	2	2	1	1	40.0	1	235.0	8.27	270.0	9.64
FB	9	1	2	4	1	4	35.0	3	215.0	24.77	270.0	35.21
FB	9	1	2	4	1	4	35.0	3	300.0	28.37	270.0	35.59
FB	10	2	1	2	1	1	40.0	1	310.0	42.90	350.0	63.89
FB	11	2	2	4	1	5	30.0	3	325.0	103.35	350.0	76.45
FB	12	2	2	4	1	5	30.0	3	200.0	19.82	270.0	28.16
FB	13	2	2	3	1	4	35.0	3	255.0	50.35	270.0	
FB	14	2	2	4	1	5	40.0	3	240.0	11.44	270.0	
FB	16	2	2	1	1	3	50.0	2	220.0	26.15	270.0	
FB	17	2	2	1	1	3	50.0	2	255.0	9.53	270.0	
FB	18	2	1	2	1	3	56.0	2	260.0	42.02	270.0	
FB	19	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	19.31	270.0	
FB	20	2	2	3	1	4	32.0	3	260.0	55.44	270.0	
FB	21	2	2	3	1	4	32.0	3	320.0	45.42	350.0	
FB	22	2	2	3	1	4	32.0	3	240.0	54.61	270.0	
FB	23	2	2	3	1	4	32.0	3	240.0	22.82	270.0	
FB	24	2	2	3	1	4	32.0	3	205.0	36.24	270.0	
FB	25	2	1	3	2	3	35.0	3	240.0	20.86	270.0	
FB	26	2	2	3	1	4	32.0	3	210.0	11.17	270.0	
FB	27	2	2	3	1	4	32.0	3	255.0	58.19	270.0	



FB	28	2	2	3	1	4	32.0	3	235.0	25.93	270.0	29.17
FB	29	2	2	2	1	1	30.0	3	200.0	28.61	270.0	32.59
FB	30	2	2	2	1	1	30.0	3	200.0	54.32	270.0	21.12
FB	31	2	2	2	1	1	30.0	3	230.0	31.29	270.0	28.16
FB	32	2	2	2	1	1	30.0	3	300.0	25.95	270.0	32.59
FB	33	2	2	2	1	1	30.0	3	245.0	48.28	270.0	54.32
FB	34	2	2	4	1	4	29.0	4	210.0	25.04	270.0	28.16
FB	35	2	2	4	1	4	29.0	4	275.0	32.86	270.0	42.25
FB	36	2	2	1	1	3	50.0	2	230.0	26.60	270.0	36.51
FB	37	2	2	3	1	4	32.0	3	230.0	28.31	270.0	19.97
FB	38	2	2	3	1	4	32.0	3	205.0	89.19	270.0	76.45
FB	39	2	2	3	1	4	32.0	3	240.0	17.34	270.0	9.05
FB	40	2	2	3	1	4	32.0	3	285.0	23.74	270.0	21.73
FB	41	2	2	4	1	4	29.0	4	245.0	32.19	270.0	36.21
FB	42	2	2	4	1	4	29.0	4	250.0	12.66	270.0	17.10
FB	43	1	2	1	1	1	58.0	2	240.0	29.02	270.0	38.22
FB	44	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	28.31	270.0	38.22
FB	45	1	2	1	1	1	58.0	2	270.0	9.50	270.0	17.10
FB	46	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	7.64	270.0	
FB	47	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	7.91	270.0	
FB	48	1	2	1	1	1	58.0	2	240.0	10.57	270.0	
FB	49	1	2	1	1	1	58.0	2	230.0	18.62	270.0	
FB	50	1	2	1	1	1	58.0	2	255.0	16.09	270.0	
FB	51	1	2	1	1	1	58.0	2	250.0	12.22	270.0	
FB	52	1	2	1	1	1	58.0	2	295.0	8.58	270.0	
FB	53	2	2	4	1	4	29.0	4	265.0	14.51	270.0	
FB	54	2	2	2	1	1	30.0	3	240.0	6.87	270.0	
FB	55	2	2	4	1	4	29.0	4	305.0	60.05	350.0	
FB	56	2	2	2	1	1	30.0	3	240.0	26.60	270.0	
FB	56a	2	2	2	1	1	30.0	3	240.0	26.60	270.0	
FB	57	1	2	1	1	1	58.0	2	235.0	9.29	270.0	
FB	58	1	2	1	1	1	58.0	2	365.0	13.41	350.0	
FB	59	2	2	2	1	1	30.0	3	215.0	28.37	270.0	

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

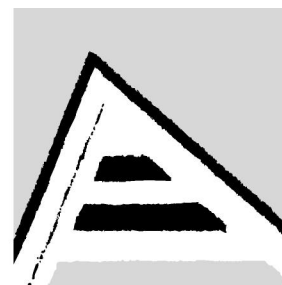
60	2	2	2	1	30.0	3	345.0	24.19	350.0	30.38
FB										
61	2	2	2	1	30.0	3	320.0	14.15	350.0	19.11
FB										
62	2	2	3	1	32.0	3	240.0	7.63	270.0	12.87
FB										
63	2	2	3	1	32.0	3	300.0	64.38	270.0	54.32
FB										
64	2	2	3	1	32.0	3	260.0	54.76	270.0	63.89
FB										
65	2	2	3	1	32.0	3	250.0	45.04	270.0	39.23
FB										
66	2	2	3	1	32.0	3	200.0	26.97	270.0	36.41
FB										
67	2	2	3	1	35.0	3	235.0	28.31	270.0	38.22
FB										
68	2	2	3	1	32.0	3	240.0	22.13	270.0	41.20
FB										
69	2	2	3	1	35.0	2	245.0	6.94	270.0	5.43
FB										
70	2	2	3	1	35.0	2	300.0	7.15	350.0	8.04
FB										
71	2	2	3	1	35.0	3	265.0	34.55	270.0	35.20
FB										
72	2	2	3	1	35.0	3	315.0	27.57	350.0	29.77
FB										
72	2	2	1	1	58.0	2	200.0	14.86	270.0	21.12
FB										
73	2	2	3	1	35.0	3	200.0	84.50	270.0	114.07
FB										
73	2	2	3	1	35.0	3	210.0	30.18	270.0	27.16
FB										
74	2	2	3	1	35.0	3	260.0	29.14	270.0	27.16
FB										
75	2	2	3	1	32.0	3	205.0	19.31	270.0	21.72
FB										
75	2	2	1	3	45.0	2	290.0	545.33	270.0	727.31
FB										
78	2	2	4	1	30.0	3	*	*	*	*
FB										
79	1	2	1	1	58.0	2	*	*	*	*
FB										
80	1	2	1	1	58.0	2	*	*	*	*
FB										
81	2	2	3	1	28.0	3	*	*	*	*
FB										
1	2	2	3	1	25.0	3	310	9.10	350.0	
TL										
2	2	2	2	3	40.0	4	200	15.60	170.0	
TL										
3	2	2	3	1	30.0	2	250	17.89	350.0	
TL										
4	2	2	3	1	30.0	2	240	21.60	270.0	
TL										
5	2	2	3	1	30.0	2	200	14.40	170.0	
TL										
6	2	2	3	1	30.0	2	240	14.40	270.0	
TL										
7	2	2	2	1	45.0	2	230	10.75	270.0	
TL										
8	2	2	2	1	45.0	2	275	24.80	350.0	
TL										
9	2	2	2	1	45.0	2	200	24.00	270.0	
TL										
10	2	2	2	1	45.0	2	240	18.50	270.0	
TL										



21.720
43.450
26.600
27.160
71.620
43.460
36.820
34.200
44.460
8.650
43.450
29.770
10.860
29.770
27.160
27.160
10.860
15.080

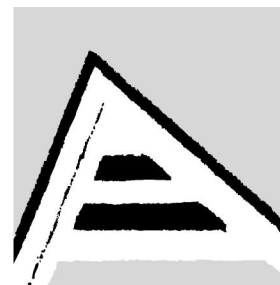
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

270.0	14.80	200	3	40.0	3	1	2	1	2	11	TL
270.0	32.00	215	3	40.0	3	1	3	1	2	12	TL
270.0	14.80	200	2	45.0	1	1	2	1	2	13	TL
270.0	10.06	200	3	40.0	3	1	3	1	2	14	TL
270.0	75.60	200	3	40.0	3	1	3	1	2	15	TL
270.0	33.60	240	2	60.0	1	1	2	1	2	16	TL
270.0	30.80	200	2	60.0	1	1	2	1	2	17	TL
270.0	25.97	220	2	60.0	1	1	2	1	2	18	TL
270.0	39.53	200	2	60.0	1	1	2	1	2	19	TL
270.0	6.41	200	2	60.0	1	1	2	1	2	20	TL
270.0	24.15	205	2	60.0	1	1	2	1	2	21	TL
270.0	22.06	240	2	60.0	1	1	2	1	2	22	TL
270.0	7.25	205	2	60.0	1	1	2	1	2	23	TL
350.0	26.40	280	2	60.0	1	1	2	1	2	24	TL
270.0	24.18	200	2	60.0	1	1	2	1	2	25	TL
270.0	24.18	220	2	60.0	1	1	2	1	2	26	TL
270.0	14.69	245	2	60.0	1	1	2	1	2	27	TL
270.0	10.07	215	2	60.0	1	1	2	1	2	28	TL
270.0	9.24	200	2	60.0	1	1	2	1	2	29	TL
270.0	13.90	220	2	60.0	1	1	2	1	2	30	TL
270.0	4.43	225	2	60.0	1	1	2	1	2	31	TL
350.0	12.08	330	2	60.0	1	1	2	1	2	32	TL
270.0	71.69	240	2	60.0	1	1	2	1	2	33	TL
270.0	9.99	220	2	60.0	1	1	2	1	2	34	TL
270.0	32.70	230	2	60.0	1	1	2	1	2	35	TL
350.0	16.09	250	2	60.0	1	1	2	1	2	36	TL
350.0	18.24	345	2	60.0	1	1	2	1	2	37	TL
350.0	10.06	330	2	60.0	1	1	2	1	2	38	TL
270.0	69.30	210	2	48.0	3	1	2	1	1	39	TL
350.0	33.19	250	2	48.0	3	1	2	1	1	40	TL
270.0	28.83	240	2	48.0	3	1	2	1	1	41	TL
350.0	24.14	290	2	48.0	4	1	2	1	1	42	TL
350.0	60.84	285	2	48.0	3	1	2	1	1	43	TL



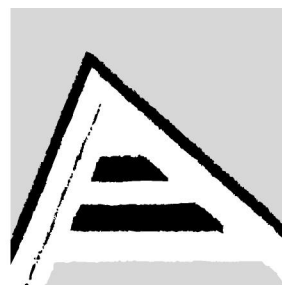
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TL	44	2	1	2	1	3	48.0	2	240	48.28	270.0	56.330
TL	45	2	1	2	1	3	48.0	2	240	17.04	270.0	19.560
TL	46	2	1	2	1	3	48.0	2	240	16.81	270.0	24.510
TL	47	2	1	2	1	3	48.0	2	230	17.16	270.0	24.510
TL	48	2	1	2	1	3	48.0	2	325	30.98	350.0	40.160
TL	49	2	1	2	1	3	56.0	2	345	30.18	350.0	35.210
TL	50	2	1	2	1	3	56.0	2	370	24.14	350.0	35.210
TL	51	2	1	2	1	1	40.0	2	355	10.73	350.0	13.470
TL	52	2	1	2	1	3	48.0	2	355	31.38	350.0	42.250
TL	53	2	1	2	1	3	48.0	2	240	55.52	270.0	56.330
TL	54	2	1	3	1	3	40.0	2	300	25.05	350.0	32.990
TL	55	2	1	2	1	3	56.0	2	300	113.12	350.0	114.75
TL	56	2	1	2	1	3	56.0	2	230	188.02	270.0	158.56
TL	57	2	1	2	1	3	56.0	2	305	53.41	350.0	61.290
TL	58	2	1	2	1	3	56.0	2	300	29.00	350.0	35.200
TL	59	2	1	2	1	3	56.0	2	240	23.86	270.0	25.290
TL	60	2	1	2	1	3	56.0	2	305	20.66	350.0	21.910
TL	61	2	1	2	1	3	48.0	2	300	54.33	350.0	63.670
TL	62	2	2	1	3	1	60.0	1	235	74.07	270.0	99.990
TL	63	2	1	2	1	3	48.0	2	270	28.17	350.0	49.290
TL	64	2	2	1	3	1	60.0	1	260	30.99	350.0	
TL	65	2	2	1	3	1	60.0	1	200	31.30	270.0	
TL	66	2	2	1	3	1	60.0	1	200	9.99	270.0	
TL	67	2	2	1	3	1	60.0	1	240	10.17	270.0	
TL	68	2	2	1	3	1	60.0	1	240	12.08	270.0	
TL	69	2	2	1	3	1	60.0	1	205	9.99	270.0	
TL	70	2	1	2	1	3	48.0	2	245	60.36	270.0	
TL	71	2	1	2	1	3	48.0	2	300	37.34	350.0	
TL	72	2	2	1	3	1	60.0	1	260	14.01	350.0	
TL	73	2	2	1	3	1	60.0	1	300	12.24	350.0	
TL	74	2	2	1	3	1	60.0	1	365	5.97	350.0	
TL	75	2	2	3	1	1	30.0	2	415	18.75	350.0	
TL	76	2	2	2	1	3	35.0	2	200	13.08	270.0	



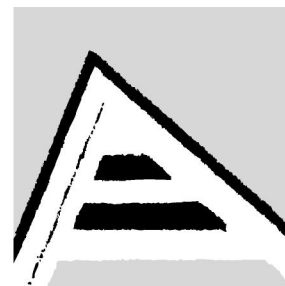
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

77	TL	2	2	1	60.0	2	240	12.08	270.0	21.720
90	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
91	TL	2	2	3	60.0	1	*	*	*	*
92	TL	2	2	3	60.0	1	*	*	*	*
93	TL	2	2	3	60.0	1	*	*	*	*
94	TL	2	2	1	60.0	1	*	*	*	*
95	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
96	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
97	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
98	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
99	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
100	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
101	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
102	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
103	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
104	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
105	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
106	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
107	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
108	TL	2	2	1	60.0	2	*	*	*	*
109	TL	2	2	1	35.0	2	*	*	*	*
110	TL	2	2	1	35.0	1	*	*	*	*
111	TL	2	2	1	60.0	1	*	*	*	*
112	TL	2	2	1	35.0	2	*	*	*	*
113	TL	2	2	1	35.0	1	*	*	*	*
114	TL	2	2	1	35.0	1	*	*	*	*
1	TV	1	2	1	50.0	3	235	19.60	270.0	
2	TV	1	1	3	40.0	1	270	114.27	350.0	
3	TV	1	1	1	40.0	1	435	57.22	500.0	
4	TV	1	1	1	40.0	1	420	-	500.0	
5	TV	2	1	1	50.0	1	295	35.73	350.0	
7	TV	2	1	1	50.0	1	270	30.68	350.0	
8	TV	2	1	1	50.0	1	245	63.37	270.0	



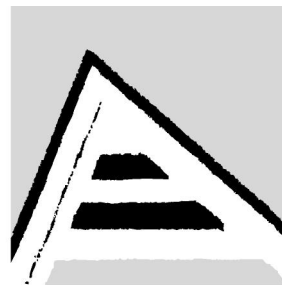
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TV	10	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	205	22.17	270.0	24.94
TV	11	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	485	8.73	500.0	13.47
TV	12	1	2	2	1	1	1	1	3	50.0	3	200	11.69	270.0	11.21
TV	13	1	2	2	1	1	1	1	3	50.0	3	240	43.77	270.0	46.42
TV	14	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	230	17.51	270.0	18.91
TV	15	1	2	2	1	1	1	1	3	50.0	3	240	66.39	270.0	105.62
TV	16	2	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	305	-	350.0	31.00
TV	17	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	454	6.55	500.0	8.04
TV	18	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	250	18.40	270.0	16.30
TV	19	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	220	7.84	270.0	16.30
TV	20	1	2	2	1	1	1	1	3	50.0	3	206	11.62	270.0	10.43
TV	21	1	2	1	1	1	1	1	1	40.0	1	230	47.48	270.0	56.33
TV	22	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	215	19.67	270.0	22.13
TV	23	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	240	19.71	270.0	21.72
TV	24	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	230	20.62	270.0	27.16
TV	25	1	2	3	1	1	1	1	5	35.0	5	240	28.31	270.0	38.22
TV	26	1	2	3	1	1	1	1	5	35.0	5	210	49.76	270.0	63.97
TV	27	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	325	22.05	350.0	29.77
TV	28	1	2	3	1	1	1	1	5	35.0	5	200	30.40	270.0	34.20
TV	29	1	2	3	1	1	1	1	4	35.0	4	365	25.95	350.0	32.59
TV	30	1	2	3	1	1	1	1	5	35.0	5	305	43.04	350.0	
TV	31	1	2	3	1	1	1	1	5	35.0	5	265	64.85	350.0	
TV	32	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	305	29.13	350.0	
TV	33A	1	1	2	1	1	1	1	2	40.0	2	330	67.80	350.0	
TV	33B	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	245	29.35	350.0	
TV	33C	1	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	340	29.35	270.0	
TV	34	1	1	2	1	1	1	1	2	40.0	2	315	8.48	350.0	
TV	35	1	1	1	1	1	1	1	2	40.0	2	350	24.54	350.0	
TV	36	1	1	1	1	1	1	1	2	40.0	2	220	13.94	400.0	
TV	37	1	1	1	1	1	1	1	2	40.0	2	300	24.14	350.0	
TV	38	2	2	1	1	1	1	1	1	50.0	1	355	539.49	350.0	
TV	39	1	1	2	1	1	1	1	2	40.0	2	390	681.00	270.0	*
TV	40	1	1	3	1	1	1	1	2	40.0	2	*	*	*	*



Universitat d'Alacant Universidad de Alicante

TV	41	1	1	1	4	40.0	2	*	*	1330.1
TV	42	1	1	4	4	40.0	2	*	*	350.0
TV	43	1	1	4	4	40.0	2	*	*	1330.1
TV	44	1	1	4	4	40.0	2	*	*	350
TV	45	1	2	5	35.0	5	5	*	*	1330.1
TV	46	1	2	5	35.0	5	5	*	*	350
TV	47	1	2	1	50.0	1	1	*	*	1330.1
TV	48	2	2	1	50.0	1	1	*	*	350
TV	49	1	2	1	50.0	1	1	*	*	1330.1
TV	50	1	2	1	50.0	1	1	*	*	350
TV	51	1	2	1	50.0	1	1	*	*	1330.1
TV	52	1	2	1	50.0	1	1	*	*	350
TV	53	1	2	1	50.0	1	1	*	*	1330.1
TV	54	1	2	1	50.0	1	1	*	*	350
TV	56	1	2	1	50.0	1	1	*	*	1330.1
TV	58	1	2	1	50.0	3	3	*	*	350

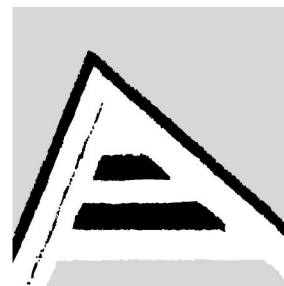


Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

Simbología utilizada en la Tabla Anexo 01

TIPO	Código
Ferráltico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado	1
Ferráltico Cuarcítico Amarillo Lixiviado	2
Fersialítico Pardo Rojizo	3
Aluvial	4
Sub Tipo	
Típico	1
Poco diferenciado	2
Diferenciado	3
Material basal	
Materiales y corteza de meteorización ferralitizados o caolinizados	1
Materiales transportados arcillosos generalmente	2
Materiales aluviales y deluviales recientes	3
Materiales transportados carbonatados o no carbonatados	4
Saturación	
Saturado (>75%)	1
Medianamente desaturado (40-75%)	2
Profundidad	
Profundo (51-100 cm)	1
Medianamente Profundo (20-50 cm)	2
Humificación	
Medianamente humificado 2,0-4,0%	1
Poco humificado <2,0%	2
Erosión	
No erosionados	1
Poca (pérdida del horizonte "A" < 25%)	2
Mediana (pérdida del horizonte "A" entre el 25 y 75 %)	3



Universitat d'Alacant

Universidad de Alicante

Fuerte (pérdida del horizonte "A" desde el 75% hasta 25% del "B")	4
Textura	
Loam arenoso	1
Loam arcilloso arenoso	2
Loam arcilloso	3
Contenido de gravas	
No gravilloso	1
Muy poca graviliosidad (< 2 %)	2
Poca graviliosidad (2-15 %)	3
Mediana graviliosidad (16-50 %)	4
Fuerte graviliosidad (51-90 %)	5
Pendiente	
Llano (0,5-1,0%)	1
Casi llano (1,1-2,0%)	2
Ligeramente ondulado (2,1 y 4 %)	3
Ondulado (4,1-8,0%)	4
Fuertemente ondulado (8,1-16,0 %)	5

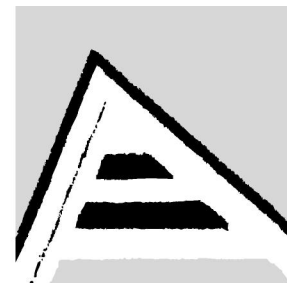
Anexo 02

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 1)

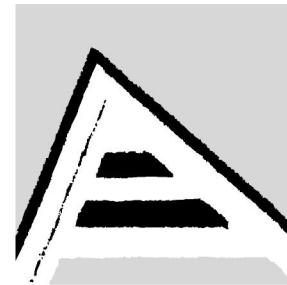
Nonparametric Correlations (1)								
Spearman's rho		Potasio total	Materia orgánica	Potasio	Suma de cationes de cambio	Calcio	Fósforo total	Rendimiento histórico
	Corr	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Corr	.980**	.936**	.803**	.961**	.710**	.958**	.788**
	Corr	.960**	.880**	.803**	.695**	.777**	.689**	.694**
	Corr	.861**	.861**	.949**	.776**	.945**	.637**	.623**
	Corr	.846**	.843**	.972**	.980**	.917**	.623**	.442**
	Corr	.883**	.911**	.796**	.957**	.710**	.446**	.013
	Corr	.938**	.881**	.744**	.689**	.361**	.190**	-.064
	Corr	.858**	.810**	.617**	.352**	.119	-.025	.128
	Corr	.801**	.624**	.478**	.109	.190**	-.108	
	Corr	.625**	.507**	-.044	.182*	-.008	.145*	
	Corr	.510**	-.066	-.094	-.010	-.228**		
	Corr	-.073	-.045	.139	-.231**	-.047		
	Corr	-.074	.120	-.091	-.025	-.214**		
	Corr	.125	-.076	-.117	-.195**	-.342**		
	Corr	-.058	-.137	-.123	-.176*	-.183*		
	Corr	-.127	-.186**	-.224**	.216**	.165*		
	Corr	-.151*	-.302**	-.145*	.475**	.258**		
	Corr	-.263**	-.135	-.021	.203**	.179*		
	Corr	-.113	.147*	.210**	-.082	-.037		
	Corr	.093	.288**	.025	-.082	-.105		
	Corr	.276**	.106	.119	.226**	.194**		
	Corr	.080	.006	.053				
	Corr	.027	.009	.169*				
	Corr	.028	.156*					
	Corr	.144*						

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



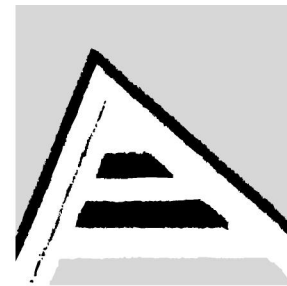
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 2)

Nonparametric Correlations (2)		Correlation	Capacidad de cambio catiónico	Porcentaje de saturación de bases	Acidez del Suelo (pH)	Humedad higroscópica	Erosión	Profundidad efectiva	Sub-Tipo de suelo
Spearman's rho									
	Potasio total	Corr							
	Materia orgánica	Corr							
	Potasio	Corr							
	Suma de cationes de cambio	Corr							
	Calcio	Corr							
	Fósforo total	Corr							
	Rendimiento histórico	Corr							
	Capacidad de cambio catiónico	Corr	1.000						
	Porcentaje de saturación de bases	Corr	.891**	1.000					
	Acidez del Suelo (pH)	Corr	.678**	.653**	1.000				
	Humedad higroscópica	Corr	.347**	.335**	.226**	1.000			
	Erosión	Corr	.123	.089	.051	-.025	1.000		
	Profundidad efectiva	Corr	.197**	.161*	.117	-.074	.844**	1.000	
	Sub-Tipo de suelo	Corr	.002	-.027	.058	.044	-.795**	-.770**	1.000
	Pendiente N	Corr	-.260**	-.178*	-.155*	-.034	-.745**	-.610**	.401**
	Contenido de gravas	Corr	-.040	.003	-.058	.056	.58		
	Saturación	Corr	-.226**	-.126	-.127	-.145*	-.40		
	Humificación	Corr	-.384**	-.225**	-.274**	-.099	.0		
	Categoría agroproductiva	Corr	-.220**	-.106	-.215**	.021	-.0		
	Profundidad pedológica	Corr	.220**	.232**	-.018	.108	-.26		
Magnesio	Corr	.464**	.474**	.200**	.068	-.46			
Material basal	Corr	.214**	.201**	.146*	-.030				
Tipo de suelo	Corr	-.094	-.080	-.043	-.026				
Textura	Corr	-.077	-.094	.055	-.085	-.22			
Sodio	Corr	.223**	.219**	.131	-.042				

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).



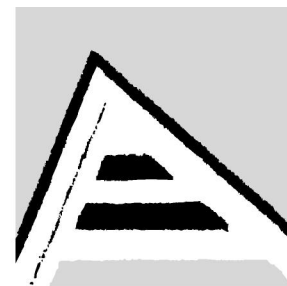
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 3)

Nonparametric Correlations (3) Correlation		Pendiente	Contenido de gravas	Saturación	Humificación	Categoría agroproductiva	Profundidad pedológica	Magnesio
Spearman's rho	Potasio total	Corr						
	Materia orgánica	Corr						
	Potasio	Corr						
	Suma de cationes de cambio	Corr						
	Calcio	Corr						
	Fósforo total	Corr						
	Rendimiento histórico	Corr						
	Capacidad de cambio catiónico	Corr						
	Porcentaje de saturación de bases	Corr						
	Acidez del Suelo (pH)	Corr						
	Humedad higroscópica	Corr						
	Erosión	Corr						
	Profundidad efectiva	Corr						
	Sub-Tipo de suelo	Corr						
	Pendiente	Corr						
	Contenido de gravas	Corr	1.000	1.000	1.000	1.000		
	Saturación	Corr	-.072	.462**	.590**	.590**		
	Humificación	Corr	.438**	.145*	-.104	-.104		
Categoría agroproductiva	Profundidad pedológica	Corr	.235**	.204**	-.112	-.112		
	Magnesio	Corr	-.129	-.009	-.173*	-.173*		
	Material basal	Corr	.114	.499**	.159*	.159*		
	Tipo de suelo	Corr	-.276**	.280**	-.074	-.074		
	Textura	Corr	.093	.276**	-.011	-.011		
	Sodio	Corr	-.158*	.031				
		Corr	.086					

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).



Universitat d'Alacant

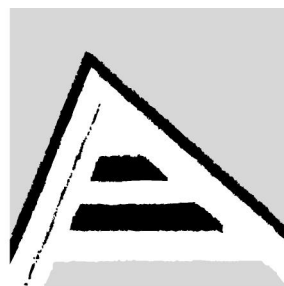
Universidad de Alicante

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 4)

Nonparametric Correlations (4)		Material basal	Tipo de suelo	Textura	Sodio
Spearman's rho	Potasio total	Corr			
	Materia orgánica	Corr			
	Potasio	Corr			
	Suma de cationes de cambio	Corr			
	Calcio	Corr			
	Fósforo total	Corr			
	Rendimiento histórico	Corr			
	Capacidad de cambio catiónico	Corr			
	Porcentaje de saturación de bases	Corr			
	Acidez del Suelo (pH)	Corr			
	Humedad higroscópica	Corr			
	Erosión	Corr			
	Profundidad efectiva	Corr			
	Sub-Tipo de suelo	Corr			
	Pendiente N	Corr			
	Contenido de gravas	Corr			
	Saturación	Corr			
	Humificación	Corr			
	Categoría agroproductiva	Corr			
	Profundidad pedológica	Corr			
	Magnesio	Corr			
	Material basal	Corr			
	Tipo de suelo	Corr	1.000	1.000	
	Textura	Corr	.092	1.000	
	Sodio	Corr	.093	-.136	

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).



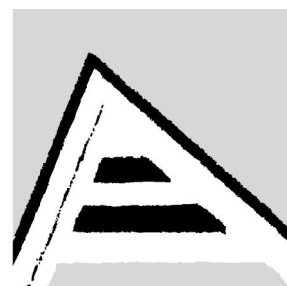
Anexo 03

Tabla con la composición del medio
Medio MS (Murashige and Skoog,

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Sustancia	Conc. mg/L	Sol		
MACRO				
NH ₄ NO ₃	1650	66 g		
KNO ₃	1900	76 g	1L	25 mL
MgSO ₄ ·7H ₂ O	370	14,8 g	1L	25 mL
KH ₂ PO ₄	170	6,8 g	1L	25 mL
MICRO				
H ₃ BO ₃	6,2	1,55 g	250 mL	1 mL
MnSO ₄ ·4H ₂ O	22,3	5,575 g	250 mL	1 mL
ZnSO ₄ ·4H ₂ O	8,6	2,15 g	250 mL	1 mL
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,25	0,0625 g	250 mL	1 mL
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,025	0,00625 g	250 mL	1 mL
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,025	0,00625 g	250 mL	1 mL
KI	0,83	0,083 g	100 mL	1 mL
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	22,0 g	100 mL	2 mL
Na ₂ EDTA	37,3	1,865 g	500 mL	10 mL
FeSO ₄ ·7H ₂ O	27,8	1,39 g	500mL	10 mL
Sustitutos				
MgSO ₄ (anhidro)	180,7			
CaCl ₂ (anhidro)	332,2			

Anexo 04



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

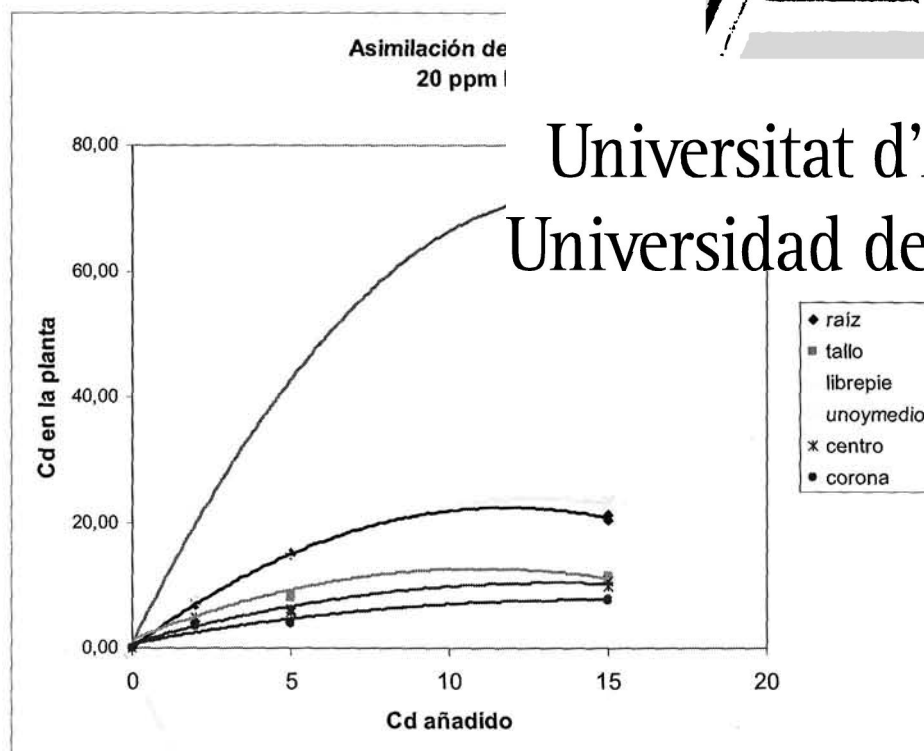


Figura 5.9b Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 20 ppm de Plomo en el sustrato

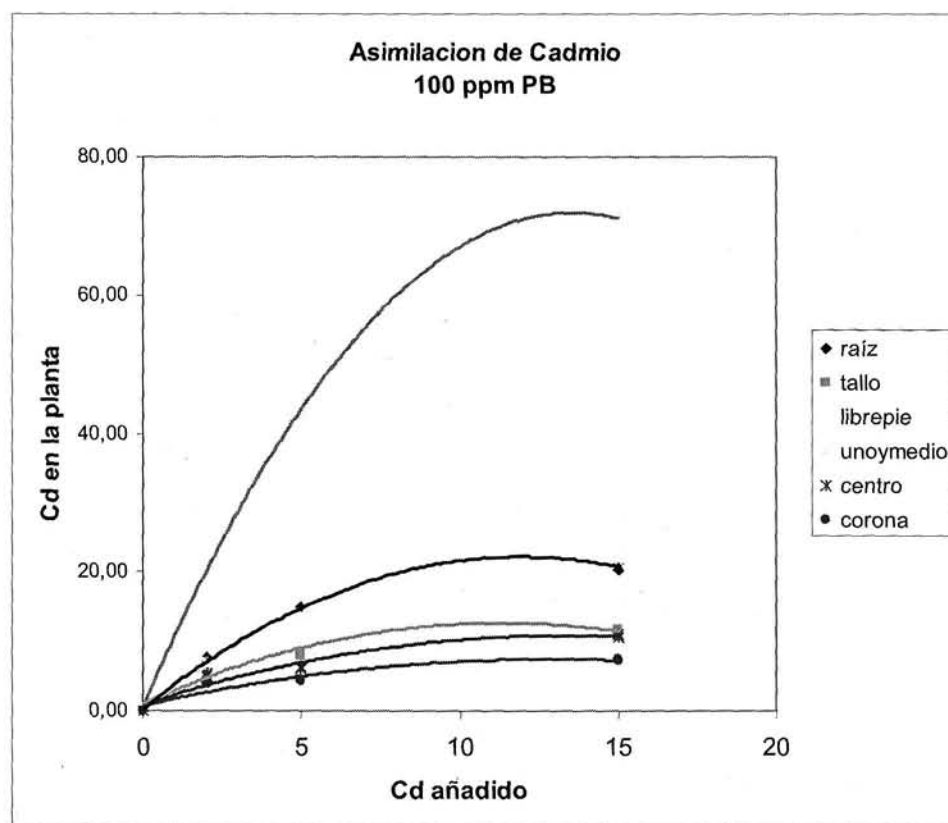


Figura 5.9c Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 100 ppm de Plomo en el sustrato

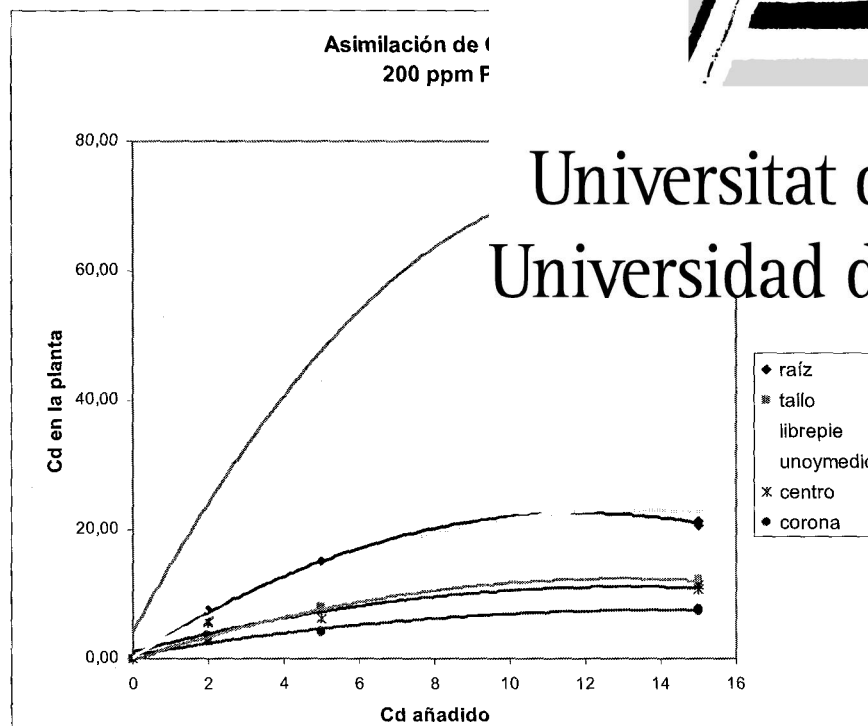
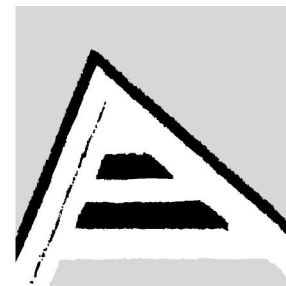
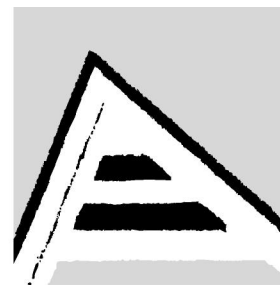


Figura 5.9d Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 200 ppm de Plomo en el sustrato



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

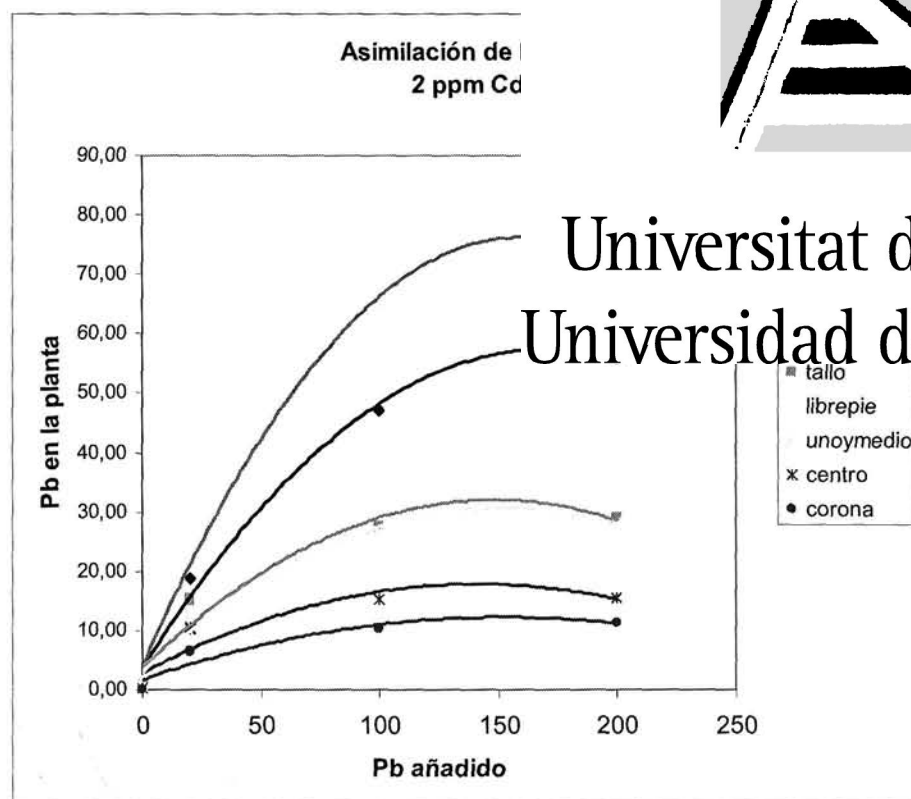


Figura 5.10b Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 2 ppm de Cadmio en el sustrato

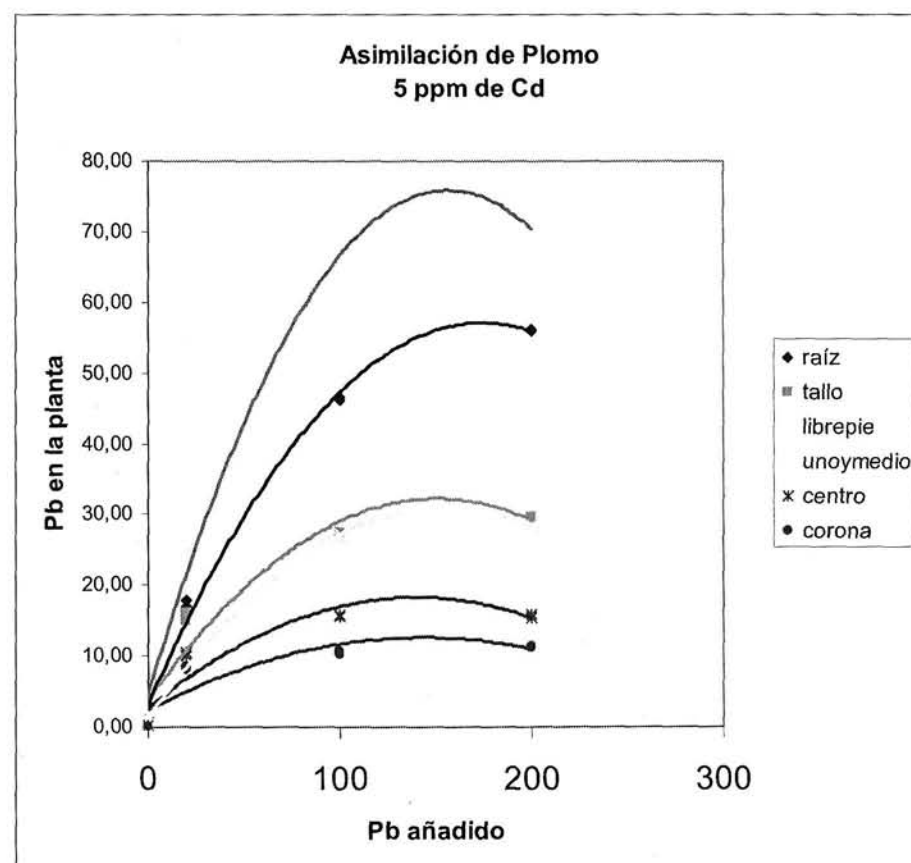


Figura 5.10c Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 5 ppm de Cadmio en el sustrato

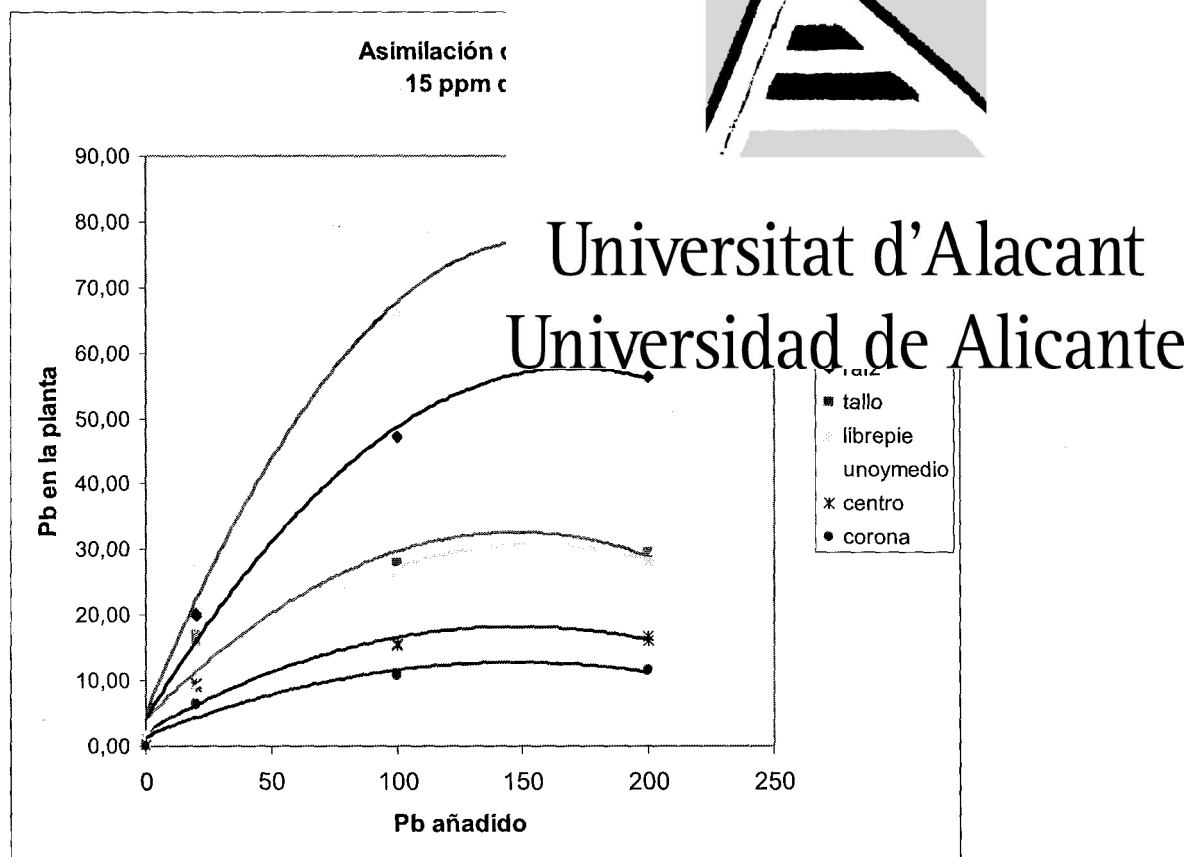


Figura 5.10d Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 15 ppm de Cadmio en el sustrato

PROGRAMA DE DOCTORADO COOPERADO
“DESARROLLO SOSTENIBLE: MANEJOS FORESTAL Y TURÍSTICO”
UNIVERSIDAD DE ALICANTE
UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

TITULO: El potencial acumulador de Cadmio y Plomo de la *Nicotiana tabacum* L variedad “Criollo 98” cultivada en suelos y sustrato artificial en San Juan y Martínez, Pinar del Río, Cuba.

Autor: *José Manuel Pérez Meléndez* *Universidad de Pinar del Río*

Director de tesis: *Dr. Dagoberto Paz* *Universidad de Pinar del Río*

Tutor: *Dr. Antonio Escarré* *Universidad de Alicante*



Pinar del Río, Junio de 2006

DEDICATORIA: A *mis padres*

Agradecimientos:

- ***A todos los que me ayudaron en este empeño***
- ***A mis compañeros y compañeras del laboratorio por soportarme durante todo este tiempo***
- ***A mi compañero y amigo ARMANDO que se vistió de campesino para ayudarme a recolectar tabaco***
- ***A mi compañero y amigo SOTOLONGO por su paciencia con la estadística***
- ***A Iris, mi esposa, por todo lo que empujó***
- ***A mi compañero y amigo DAGOBERTO, mi director de Tesis, por la confianza depositada en mi persona***
- ***Al Doctor ANTONIO ESCARRE por su colaboración y ayuda en todos los sentidos***

A todos Ustedes muchas gracias!

INDICE:

CONTENIDO	Página
Introducción General	1
1.0 Capítulo 1 Revisión bibliográfica	6
1.1 El cultivo del tabaco	6
1.2 El suelo. Estructura y composición química	8
1.3 Contaminación del suelo por metales pesados	12
1.4 Determinación del contenido de metales pesados en suelos	40
1.5 Valoración de la calidad de un suelo. Establecimiento de niveles de fondo y niveles de referencia	50
2.0 Capítulo 2 Caracterización edáfica y productiva de las áreas de la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez, Pinar del Río: Propuesta de manejo por medio de un Sistema de Información Geográfico (SIG).	56
2.1 Introducción	56
2.2 Materiales y método	65
2.3 Resultados y discusión	69
2.4 Conclusiones	88
3.0 Capítulo 3 Comportamiento de la Variedad "Criollo 98" en suelos de tres Cooperativas de la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez, Pinar del Río	89
3.1 Introducción	89
3.2 Materiales y método	99
3.3 Resultados y discusión	105
3.4 Conclusiones	127
4.0 Capítulo 4 Comportamiento de la Variedad "Criollo 98" en un suelo contaminado con Cadmio y Plomo	128
4.1 Introducción	128
4.2 Materiales y método	138
4.3 Resultados y discusión	145
4.4 Conclusiones	163
5.0 Capítulo 5 Influencia de la aplicación de diferentes dosis de Cd y Pb en la variedad de tabaco "Criollo 98" cultivada en un sustrato inerte.	164
5.1 Introducción	164
5.2 Materiales y método	177
5.3 Resultados y discusión	182
5.4 Conclusiones	204
Conclusiones Generales	205
Referencias Bibliográficas	206
Anexos	231

INTRODUCCIÓN GENERAL

El tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) es una planta ampliamente conocida en todo el planeta. Se cultiva en muchos países del mundo, al desarrollarse bajo las más variadas condiciones de suelo y clima, lo cual es debido a su gran plasticidad ecológica, su ciclo relativamente corto y a la gran variedad de tipos y calidades de tabacos existentes. Ello no quiere decir que se obtengan elevados rendimientos y alta calidad en todos los lugares en que está establecido este cultivo.

Desde hace muchos años, el tabaco ha resultado una apreciable fuente de ingresos de divisas al país, determinado ello, por la calidad sin par del tipo negro que se ha abierto paso en los mejores y más estables mercados de la aromática hoja. Es mundialmente conocida la calidad inigualable del tabaco negro cubano con el cual se elaboran los puros de mayor aceptación en el mercado mundial, lo que posibilita que el tabaco cubano tenga mercados estables y precios altos.

La clasificación genética del tabaco propone la existencia de varios tipos, tales como: Negro, Burley, Virginia, Oriental y Semi-oriental. Su cultivo está ampliamente difundido en el mundo y particularmente en países de alto desarrollo tecnológico donde el rendimiento alcanzado supera a las 2 t/ha. (F.A.O, 1989). Sin embargo, en nuestro país, pese a que no existen limitantes de clima y suelo para la producción de éste cultivo, la calidad y los rendimientos logrados no sobrepasan el 50% de las potencialidades de las variedades utilizadas.

El tabaco tiene diferentes usos, destacándose su empleo para fumar (puros, cigarrillos y picadura para pipas), para mascar, inhalar, así como para la elaboración de insecticidas a partir de la nicotina, su principal alcaloide. Se utiliza, además, para la extracción de proteínas, con fines alimentarios, de variedades obtenidas con tal propósito.

En Cuba se dedican al cultivo del tabaco negro unas 60 mil hectáreas, muchas de las

cuales, pudieran producir diferentes alimentos para el consumo humano o para la alimentación animal, si se alcanzaran los rendimientos óptimos para cada variedad. Esto pudiera lograrse sin afectar la calidad del tabaco e incluso, mejorando las cualidades del suelo.

Durante muchos años, los suelos dedicados al cultivo del tabaco han sido intensamente explotados, produciéndose el agotamiento de los mismos. Las enmiendas realizadas no han producido los resultados necesarios y ha existido un abandono casi total en lo relacionado con el estudio de los microelementos, su presencia en el suelo y en la planta en los niveles adecuados, así como la presencia de microelementos pesados que afectan la calidad de la producción obtenida.

Se impone, por tanto, la necesidad de que la materia prima con que se elaboran los cigarrillos y el tabaco cubano, de tanta fama en el mundo entero, se acerque cada vez mas la condición de materia prima ecológica estableciendo los parámetros necesarios que avalen la calidad del tabaco que se cultiva en esta Isla.

Los fenómenos naturales pueden ser causas de importantes contaminaciones en el suelo, pero las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo.

La contaminación de suelos es un problema ambiental grave, que afecta a aquellos países que han desarrollado, desde los comienzos de la revolución industrial, actividades de extracción y concentración de minerales así como procesos industriales en los que aparecen como materias primas y residuos. Durante muchos años, el destino que los industriales y usuarios han dado a los residuos y en especial a los de características tóxicas, ha sido el depositarlos en zonas del entorno urbano, canteras antiguas o en taludes y terrenos baldíos. También ha sido frecuente que muchos de estos restos permanecieran en o junto a los recintos fabriles, especialmente en el caso de escorias y sales de fundición cuya toxicidad, aunque sea en general baja, puede

incrementarse con el tiempo.

La preocupación sobre los efectos de la contaminación en suelos es relativamente reciente y muy posterior a la consideración de las repercusiones medio-ambientales de las actividades humanas sobre el aire y sobre el agua. Se reconoce la necesidad de que exista una reglamentación específica y se insta a los países a que elaboren normas para promover esta protección mediante la coordinación de las diferentes políticas sectoriales que puedan afectarlos. Se destaca la necesidad de prestar una especial atención para prevenir y reducir los problemas que causan los residuos en los suelos, con el fin de que no afecten a las posibilidades de desarrollo y supervivencia de las generaciones futuras.

Un suelo contaminado es aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, y como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera, y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La razón de la atención que reciben los metales pesados se debe a su enorme impacto medio-ambiental. Se trata de elementos acumulativos y no biodegradables. Algunos de ellos son esenciales a bajas concentraciones, y tóxicos cuando estas últimas superan un cierto umbral, mientras que otros son tóxicos "per se".

En Gran Bretaña se ha presentado un inventario del contenido en metales pesados (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, As y Hg) en 2000 suelos agrícolas de Inglaterra y Gales, que pone de manifiesto la necesidad de desarrollar estrategias para reducir el contenido de dichos metales y establecer políticas destinadas a la protección del suelo (Nicholson, 2003).

En este trabajo se realiza un estudio de una variedad de tabaco negro cubano (Criollo

98), la cual, por su versatilidad, se cultiva tanto en la variante de "sol", como en la variante de "tapado" para la producción de capas. El estudio se realiza en la empresa municipal de tabaco de San Juan y Martínez y abarca tres Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS). Teniendo en cuenta la magnitud e importancia de este trabajo, se decidió aplicar un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permitiera una evaluación rápida y segura de todas las variables analizadas.

Los Sistemas de información Geográfica sirven de apoyo para dar solución rápida a diversos problemas que se pueden presentar en el proceso de producción agrícola, como son la determinación de las áreas con mayores aptitudes físico geográficas y edafoclimáticas, contribuye también a la comprensión de estos ecosistemas y a la agilidad en el proceso de proyección y planificación del proceso productivo en la agricultura. Es de vital importancia para establecer las áreas de mayores riesgos de contaminación, así como las fuentes de esta contaminación. La elaboración de software específico de determinadas zonas utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye un puente fundamental para emitir un criterio sobre el grado de pertinencia de un área determinada y las potencialidades reales que ésta presenta.

MapInfo profesional es un software de tipo desktop o desktop mappin, para trabajos de mapeo sencillos, rápidos y poco complejos, siendo uno de los que más se emplea actualmente en Cuba y a nivel mundial para estos fines.

Este trabajo reúne una serie de datos georreferenciados, a partir de los cuales pueden obtenerse diferentes mapas temáticos de gran utilidad para la administración óptima de la empresa. El producto final será un Sistema de Información Geográfica (SIG) que servirá de soporte para lograr una mayor eficiencia y rapidez en el procesamiento de la información agrícola en la empresa tabacalera "Hermanos Saíz Montes de Oca" de San Juan y Martínez, de manera que se produzca una valoración integral teniendo en cuenta toda la información disponible, lo que contribuirá a una mejor organización y control de la producción tabacalera.

Por todo lo anterior, este trabajo podría contribuir a determinar los niveles biodisponibles para distintos metales pesados y su correlación con distintos parámetros e índices morfológicos y fisiológicos de la planta de tabaco.

Se estudia la variedad de tabaco "Criollo 98" y sus potencialidades en relación con la asimilación de metales pesados como el Cadmio y el Plomo. Se investigan las potencialidades de esta variedad para técnicas de fitorremediación.

Se determinan valores de referencia que permiten marcar los niveles de riesgo referenciales, a partir de los cuales se podrá considerar si existe o no contaminación por Cadmio y Plomo de una forma más segura.

Finalmente, este trabajo pretende estimular la introducción de los SIG en áreas de producción tabacalera de importancia económica para la provincia y para el país.

CAPÍTULO 1

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1.- EL CULTIVO DEL TABACO

1.1.1.- Generalidades del cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L).

El tabaco es una planta en la que el hombre debe contribuir a que los procesos fotosintéticos, anabólicos y catabólicos vayan dirigidos hacia la obtención de una composición química acorde a la calidad exigida en función del uso industrial que tendrá la aromática hoja (Quintana, 1981).

Al valorar la calidad del tabaco negro cubano muchos la atribuyen a las adecuadas condiciones de suelo y clima que predominan en los agroecosistemas tabacaleros, lo cual es cierto, pero a ello se debe añadir los sólidos conocimientos, la experiencia atesorada de generación en generación por los productores y la estricta disciplina tecnológica en los procesos semi-industriales e industriales (Bustio, 2004).

Desde el punto de vista de la calidad el tabaco es una planta de baja plasticidad ecológica, lo que indica, dentro de otros aspectos, su alta dependencia del ambiente, razón por la cual cuando se decide trabajar en este cultivo, como productor o como técnico, se deben poseer sólidos conocimientos en relación con las exigencias climáticas y de suelo que requiere el mismo.

1.1.2.- Características de la variedad "Criollo 98"

La variedad "Criollo 98" se origina de un cruzamiento entre las variedades *Habana 92* y *Habana P.R.* Cuando se planta al sol desarrolla de 14-16 hojas útiles por planta y alcanza una altura promedio con inflorescencia de 150-160 cm, dada esta pequeña altura al hecho de que posee una distancia de entrenudos media de sólo 5 cm, aspecto este que la distingue del resto de las variedades de tabaco negro cubanas. La hoja mayor presenta una longitud media de 48-52 cm y un ancho de 24-28 cm. Su rendimiento potencial medio cultivada al sol ensartado es de unos 500 quintales/caballería (1,7 Mg/ha), y al sol en palo de 800 quintales/caballería (2,7 Mg/ha).

Es resistente al moho azul, la pata prieta y el virus del mosaico del tabaco y moderadamente resistente a la necrosis ambiental. Se recomienda para cultivo bajo tela, al sol ensartado y al sol en palo. Cultivada al sol ensartada tiene alto rendimiento en capote. (Bustio, 2004)

1.1.3.- Características de la producción tabacalera en Cuba.

Superficie cultivada: Aproximadamente 60 000 ha. Producción total: 33 000 Mg. Rendimiento por superficie: 871 Kg/ha.

En Cuba la producción de tabaco se ha concentrado tradicionalmente en cuatro grandes zonas de producción, encontrándose la mayor calidad en la zona Vuelta Abajo.

Vuelta Abajo. Es una zona mundialmente conocida por la calidad del tabaco en ella plantado. Se ubica en la región más occidental de Cuba. Abarca los municipios de Guane, Mantua, Sandino, San Juan y Martínez, San Luís, Pinar del Río, Minas de Matahambre, Viñales, La Palma y los límites de Consolación del Sur y Herradura hacia el Oeste. Esta zona produce tabacos finos, con brillo, buena combustibilidad y muy aromáticos, excelentes para la elaboración de los "Habanos", preferidos por los fumadores. Es la zona más famosa de Cuba. Aquí se produce la totalidad del tabaco de vega fina, fundamentalmente en los municipios de San Juan, San Luís y en menor escala en los de Pinar del río y Minas de Matahambre, obteniéndose por tanto "capotes" y "tripas", además de las reconocidas "capas".

También en Vuelta Abajo se cultivan los tabacos de tipo Virginia y Burley y en general la zona abastece el consumo interno del torcido y es productora del 65% del tabaco tapado de Cuba. Existen regiones en todos los municipios de esta zona en las que se destaca la calidad de su rama negra para la exportación. Se caracteriza esta zona productora por ser en la que mejor técnica se emplea y por el uso de regadío en gran parte de ella.

1.2.- EL SUELO. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

El suelo desde el punto de vista físico es la interfase entre la biosfera y la litosfera, esta constituido por una mezcla variable de partículas minerales, materia orgánica, aire y una disolución acuosa. El suelo formado por meteorización sobre el medio rocoso original constituye el soporte material para el desarrollo de organismos vivos (De Haan y Van Riemsdijk, 1986).

La Organización Internacional de Normalización (ISO 11074-1) define el suelo como la capa superior de la corteza terrestre, compuesto de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, y es la interfaz entre la tierra (geosfera), el aire (atmósfera) y el agua (hidrosfera).

Según esta definición, dentro del suelo vamos a considerar dos partes fundamentalmente: la parte biótica y la parte abiótica.

La parte biótica o parte viva del suelo, comprende una gran variedad de organismos: raíces de plantas, fauna del suelo y microorganismos, principalmente bacterias y hongos.

La parte abiótica del suelo, está constituida por tres fases diferentes:

Fase sólida: Constituida por partículas que constituyen el soporte que confiere rigidez y firmeza al suelo. Entre estas partículas existen huecos de forma y tamaño diferente denominados poros del suelo. En estos poros se encuentran la fase líquida y gaseosa del suelo. El volumen ocupado por los poros del suelo es variable y depende del tipo de suelo. Según De Hann y Van Riemsdijk, (1986) el volumen de poro en suelos arenosos es de 40-55% del total, para suelos arcillosos del 50 -70% y para suelos de turba puede superar el 80%. Dentro de la fase sólida del suelo se distinguen dos fracciones: la fracción orgánica y la fracción mineral.

La fracción orgánica proviene fundamentalmente del material vegetal y está formada por restos vegetales en diferente estado de descomposición y sustancias húmicas, que son el resultados final de esa descomposición. Estos compuestos húmicos contienen un gran número de grupos con carga negativa y una gran superficie específica ($800\text{m}^2/\text{g}$) por lo que tienen un importante papel en la adsorción electrostática de cationes, la unión del agua y la cohesión de las partículas del suelo, responsable de su estabilidad estructural.

La fracción mineral está fundamentalmente formada por cuarzo, oxihidróxidos de hierro, aluminio y manganeso y por minerales de la arcilla, Los minerales de la arcilla y los oxihidróxidos son los responsables de la reactividad del suelo, reactividad debida principalmente a su elevada área específica y a la densidad de carga que poseen, principalmente el grupo de las arcillas.

La carga negativa de las arcillas, de las sustancias húmicas (dependiendo del pH) y en ocasiones de los óxidos, dotan al suelo de una elevada capacidad de adsorción de los cationes, característica muy importante a tener en cuenta en un estudio de contaminación por metales pesados.

Fase Gaseosa: Representa el contenido en gases atmosféricos del suelo 20-30% de aire, aunque varía en función de la porosidad del suelo

La composición del aire edáfico varía con la profundidad: en la parte mas superficial la presión parcial del oxígeno tiende a ser la correspondiente a la atmósfera (0,21 atm), pero decrece con la profundidad, de forma que en la zona más profunda el ambiente tiende a ser anóxico. Esta falta de oxígeno favorece los procesos anaerobios en los que se generan gases reductores (CH_4 , N_2 , H_2 , H_2S). Por el contrario la presión parcial del CO_2 aumenta con la profundidad, alcanzándose valores de 2-10 atmósferas (De Hann y Van Riemsdijk, 1986).

Fase Líquida: Es la fina capa acuosa que se encuentra en los poros del suelo. Esencialmente es una disolución de sales, aunque también posee coloides orgánicos procedentes de la descomposición de plantas principalmente. La disolución del suelo actúa de intermediario entre la litosfera y los organismos vivos, tiene una interrelación con la atmósfera, una relación indirecta con los gases atmosféricos y dependiendo del balance evaporación-lluvia, puede tener lugar la infiltración de agua edáfica hacia horizontes más profundos.

Los iones están presentes en la disolución del suelo por causas distintas, las principales son:

- Meteorización mineral
- Descomposición de la materia orgánica
- Lluvia
- Procesos de intercambio iónico entre la disolución del suelo y las partículas coloidales, tanto minerales como orgánicas
- Mecanismos de entrada exógenos, como por ejemplo: el riego con agua de alto contenido salino, los procesos de fertilización o el vertido de contaminantes solubles.

Los procesos de descomposición de materia orgánica liberan iones de manera más rápida que la meteorización mineral, con lo que el primer mecanismo adquiere un papel predominante a corto término. Por otra parte no todos los iones procedentes de las fuentes mencionadas pasan íntegramente a la disolución del suelo. Existen procesos de retención edáfica que dificultan la lixiviación de los iones por parte del medio acuoso percolante y que, en consecuencia, dosifican su pérdida a través de los horizontes más profundos.

Desde el punto de vista químico el suelo es una mezcla química extraordinariamente compleja de diferentes sustancias minerales y orgánicas. En la formación de un suelo actúan cinco factores: el clima, la topografía, los organismos vivos, el material original y el tiempo. La composición química de un suelo viene determinada, en buena parte, por el tipo de material originario (roca), puesto que es el material base a partir del cual se

genera el suelo. Estas rocas cuando afloran a la superficie, dejan de ser estables, a partir de este momento, tienen lugar procesos químicos, físicos y biológicos sobre la roca, dando lugar al fenómeno de meteorización. Debido, sobre todo, a la infiltración de agua edáfica, que produce una cierta meteorización química, así como a la actividad orgánica, se desarrolla una estructura secuencial en capas distintas, según la profundidad, denominada horizontes. El conjunto de los horizontes, denominado perfil, da una idea de la estructura global de un suelo (Doménech, 1997).

Los distintos horizontes del suelo, los cuales pueden distinguirse visualmente, tienen diferentes propiedades físicas y químicas, dependiendo del proceso de formación del suelo. Básicamente, en un suelo pueden distinguirse tres horizontes, (Doménech, 1997). De menor a mayor profundidad son los siguientes:

Horizonte A: Esta constituido por partículas minerales y materia orgánica fresca y parcialmente descompuesta. Es una zona del suelo donde se produce mucha lixiviación, principalmente de sales de Fe, Al y Mn. Contrarrestando la acumulación de materia orgánica procedente de organismos vivos, tiene lugar una transferencia de compuestos orgánicos sencillos hacia horizontes más profundos. En este horizonte predominan los materiales silíceos.

Horizonte B: Se produce la acumulación de los compuestos de lixiviación procedentes del horizonte A. En esta región tiene lugar una lixiviación moderada y la oxidación de materia orgánica. Este horizonte, contiene óxidos de Fe (III), por lo que acostumbra a tener una cierta coloración entre amarilla y marrón. Así mismo, hay presencia predominante de silicatos laminares.

Horizonte C: Es el más profundo y se caracteriza por la práctica inexistencia de lixiviación. En esta zona de meteorización pobre, se observa la presencia de material poco particulado.

1.3.- CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR METALES PESADOS.

1.3.1.- METALES PESADOS.

Se considera metal pesado al elemento metálico que tiene una densidad igual o superior a 6 g/cm³ cuando está en forma elemental (Kabata-Pendías y Pendías, 1992), o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos o alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos, arsénico, boro, bario y selenio que se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados.

Algunos autores consideran esta definición un tanto ambigua y prefieren utilizar la denominación de metales traza (Ward, 1995). Bajo esta denominación se engloban todos los elementos presentes a concentraciones no detectables mediante técnicas de análisis clásicas, de forma que se consideran elementos traza a los que resultan detectables en un rango de concentración de 100 a 0,01 mg/kg y se reserva el término ultratrazas a niveles comprendidos entre 0,01 mg/kg y 10 µg /Kg.

En este trabajo se ha optado por la utilización del término metales pesados, ya que en algunos casos están presentes en concentraciones que sobrepasan los 100 mg/kg, por lo que a partir de este punto siempre se hará referencia a ellos utilizando esta denominación.

Dentro de los metales pesados se distinguen dos grupos:

Oligoelementos: Necesarios para el desarrollo de la vida de determinados organismos. Son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: arsénico, boro, cobalto, cromo, cobre, molibdeno; manganeso, níquel, selenio y cinc.

Metales pesados sin función biológica conocida: Metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos.

Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

Los metales pesados han sido objeto de atención por sus características contaminantes peculiares (Fachinelli et al., 2001):

- Poseen carácter acumulativo, su concentración no disminuye con el tiempo.
- Son necesarios y beneficiosos para las plantas y otros organismos a determinados niveles, pero también son tóxicos cuando exceden unos niveles de concentración.
- Están siempre presentes en los suelos a unos niveles de concentración denominados niveles fondo, cuyo origen no es externo, sino que proviene del material originario de las rocas y su transformación.
- Con frecuencia se encuentran como cationes que interactúan fuertemente con la matriz del suelo, lo que en ocasiones se traduce en que incluso a altas concentraciones pueden encontrarse en forma química no dañina o inerte. Sin embargo estos metales pueden movilizarse y cambiar de forma química debido a cambios en las condiciones medioambientales, cambios en el uso del suelo o por saturación de la capacidad de tamponamiento del suelo. Por esta razón se les ha catalogado como bomba de relojería química (Stigliani, 1993).

Los metales conocidos como contaminantes importantes siguen la serie de solubilidad: $Cd > Zn > Ni > Cu > Pb > Cr$.

La absorción de los elementos químicos por las plantas es favorecida por su solubilidad, dependiendo también de mecanismos de absorción específicos y del antagonismo con otros metales. La toxicidad de algunos metales para las plantas depende en mucho del tipo de vegetal de que se trate de acuerdo a las vías metabólicas a las que afecte. Ésta puede manifestarse de varias formas:

- Alteración del balance iónico de la membrana plasmática, lo que ocasiona la salida de iones, como el potasio.

- Alteración del balance iónico en organelos celulares y el citoplasma, lo que genera una inhibición del crecimiento (inhibición de la división celular), alteraciones metabólicas (reacciones enzimáticas en la fotosíntesis y en la respiración).

La resistencia de las plantas a los metales contaminantes se manifiesta de dos formas principales: evasión y tolerancia.

La evasión es considerada como la capacidad de la planta para prevenir una captación excesiva, mientras que la tolerancia se manifiesta como la capacidad para controlar la concentración de esos metales en su cuerpo. La evasión involucra dos tipos de procesos, exclusión y expulsión. En ellos se manifiesta: impermeabilidad (cambio en el arreglo molecular de la membrana); captación disminuida (cambios en la capacidad de la membrana para unir metales con fracciones pécticas y proteicas) y precipitación (aumento en la exudación de sustancias quelantes de metales como ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y péptidos). Para llevar a cabo la expulsión, las plantas incrementan el transporte activo y la volatilización. (García, I., Donrosoro, C. 2003).

La tolerancia se lleva a cabo principalmente por la acumulación en forma inocua. Se pueden producir compuestos que se almacenan como aminoácidos o ácidos como el cítrico y el málico. También pueden ocurrir alteraciones metabólicas a nivel enzimático o alteraciones de transporte de sustancia de una a otra región de la planta, por ejemplo la restricción de la circulación de compuestos de la raíz hacia el tallo; de hecho las vacuolas funcionan como organelos que restringen por momentos, la circulación de algún compuesto, dentro de la célula.

Debido a estas características es necesario profundizar en el estudio de la procedencia de los metales pesados en el suelo y en los factores que modifican su disponibilidad.

1.3.2.- ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR METALES PESADOS.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo, pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de su presencia a niveles tóxicos.

Cabe distinguir, por tanto dos tipos de procedencia para los metales pesados:

Origen natural: Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas, con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn); Los metales pesados al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas, debido a que pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que las consumen.

Las rocas ígneas ultrabásicas (como las peridotitas y las serpentinas) presentan los más altos contenidos en metales pesados, seguidas de las ígneas básicas (como los basaltos). Las menores concentraciones se encuentran en las rocas ígneas ácidas (como el granito) y en las sedimentarias (como las areniscas y las calizas). Los porcentajes más altos se dan para el Cr, Mn y Ni, mientras que el Co, Cu, Zn y Pb se presentan en menores cantidades, siendo mínimos los contenidos para el As, Cd y Hg.

En los suelos, los más abundantes son el Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1-1.500mg/kg; el Mn puede llegar a 10.000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cd y Hg (0,01-2 mg/kg), según Bowen (1979).

Sin embargo, en el proceso natural de transformación de las rocas para originar los suelos, los metales pesados aunque se encuentren a elevadas concentraciones, no suelen rebasar los umbrales de toxicidad y además se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos.

Origen Antropogénico : En muchos casos el contenido y la movilidad de los metales pesados en suelos se incrementa por causas no naturales, siendo la actividad humana, la causa mas frecuente de este incremento.

Las actividades que provocan una modificación del contenido natural son muy variadas: vertidos industriales, vertidos procedentes de actividades mineras, aplicación de productos químicos agrícolas y lodos residuales, gases de combustión, emisión de partículas del tráfico rodado y por último aunque no menos importantes los residuos sólidos de origen doméstico, (Lund, 1990).

Las mayores fuentes industriales incluyen fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados con las menas de hierro, como el níquel. Los metales asociados con áreas muy industrializadas incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro y níquel.

La producción de plomo secundario es una fuente potencial de contaminación del aire, suelo y agua en muchas de las etapas de fabricación.

De las afecciones mencionadas, se resalta la posible contaminación atmosférica por metales, plomo y cadmio principalmente, que por depósito de los mismos, puede provocar un aumento de los niveles de estos metales en suelos próximos a la planta así como la contaminación por acumulación de residuos en zonas próximas.

1.3.3 TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS

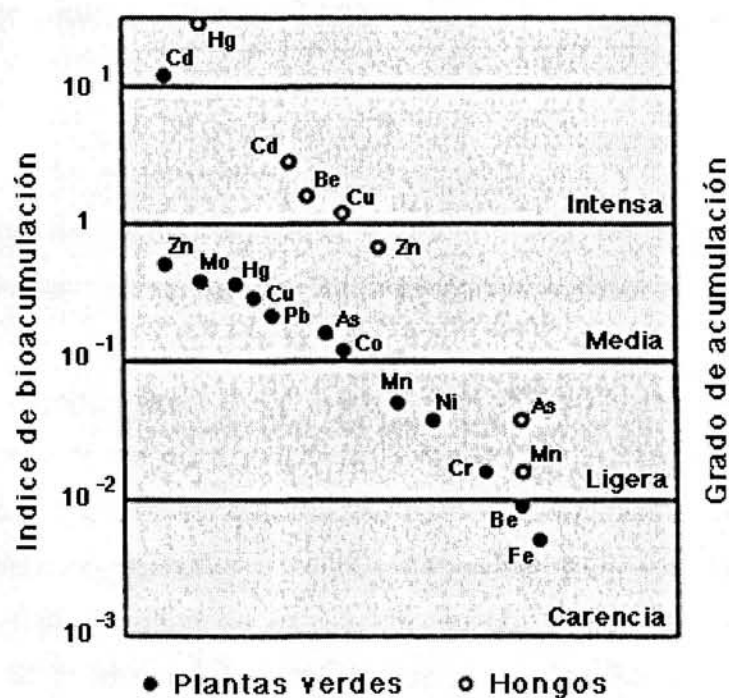
El grado de toxicidad de los metales pesados en el suelo no solo depende del tipo de elemento de que se trate y de la concentración en que se encuentre, si no que tiene una especial incidencia la forma química o física en que se presente, ya que regula su disponibilidad y por tanto el efecto contaminante producido.

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.

- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Los riesgos producidos son función, fundamentalmente, de la toxicidad y el carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación superior a 1. (Figura 1.2).



Mas y Azcue, 1993

Figura 1.2: Índice de Bioacumulación (adaptado de Calvo Anta, 1996).

El concepto de bioacumulación se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se expresa por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo.

De entre los iones metálicos más tóxicos cabe destacar el Cd y Hg. El primero se encuentra en forma catiónica y sus propiedades se asemejan a las del ión calcio. Su

interacción con los constituyentes edáficos es más fuerte que la de este último. Debido a su extrema toxicidad, cualquier vertido en el suelo da lugar a situaciones muy problemáticas.

Para definir los umbrales de toxicidad para los distintos contaminantes, un primer paso, muy útil, es calcular los valores normales que presentan los suelos naturales, no contaminados. A partir de este fondo geoquímico se puede establecer los umbrales mínimos que pueden representar contaminación y definir los niveles de toxicidad. Estos niveles han de ser contrastados con estudios sobre las repercusiones en vegetales y animales.

Para el reconocimiento de la contaminación se utilizan los "niveles de referencia" que conllevan sistemas de alerta, vigilancia y control. Por encima de estas guías se encuentran los "niveles de intervención" que obligan ya a tomar medidas correctoras.

La toxicidad de un suelo debida a los metales pesados y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases bioasimilables; es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas. Esta fracción asimilable se equipara a la extraída por DTPA o por EDTA y a ella se deberían referir los diferentes niveles de toxicidad. Pero por la dificultad de extracción, es por lo que las normativas prefieren evaluar la cantidad total de elemento tóxico presente. Se supone que existe un equilibrio entre la fase soluble y la cantidad total presente (Lindsay, 1978, calcula que el 10% del total se encuentra en fase soluble). Pero en esta correspondencia intervienen numerosos factores tanto del elemento tóxico en sí como de las características del propio suelo (conceptos ya expuestos anteriormente). Por ejemplo, para una misma concentración de elementos tóxicos en un suelo, la concentración de la fase asimilable será mucho más elevada para un suelo ácido que para uno neutro o alcalino.

Sería correcto indicar que la concentración en la fase asimilable es una medida directa de la peligrosidad real o presente, mientras que la concentración total es válida para evaluar la peligrosidad potencial o futura y solo representa de una manera indirecta y

aproximada de la toxicidad actual de un suelo.

No obstante, de todo lo ya anteriormente expuesto se deduce que para cada agente contaminante un sólo valor no puede representar el nivel de toxicidad válido para todos los tipos de suelos, para todos los cultivos y para todos los diferentes usos.

1.3.4.- FACTORES DEL SUELO QUE AFECTAN A LA DISPONIBILIDAD Y ACUMULACIÓN DE LOS METALES PESADOS.

El establecimiento de las características edáficas de un suelo resulta imprescindible a la hora de determinar la toxicidad de un metal pesado ya que de estas características depende el comportamiento del suelo frente a la acumulación de metal.

Acidez del suelo (pH)

El pH del suelo es uno de los parámetros de más influencia en los procesos edáficos, en la reactividad del suelo y en la movilidad de los contaminantes. La concentración de un metal en la disolución del suelo y por tanto su biodisponibilidad y su toxicidad potencial, está controlada por las reacciones de adsorción y desorción que ocurren en la materia coloidal del suelo. Estos procesos de adsorción de metales por el suelo se ven fuertemente influenciados por diversos parámetros edáficos y en concreto por el pH como se pone de manifiesto en numerosos estudios: Gerriste and van Driel (1984), Naidu et al., (1994), en los que se comprueba que en general los suelos de pH mas básicos presentan adsorción mas fuerte para los metales pesados que los de pH mas ácidos. Hooda y Alloway (1994a, 1994b, 1998), han estudiado la adsorción de cadmio y plomo en diferentes suelos y han comprobado la influencia del pH, estableciendo también en sus conclusiones que los suelos de pH mas básico presentan mayor retención de los metales.

La mayoría de los metales pesados tienden a estar más disponibles a pH ácidos a excepción hecha de arsénico, molibdeno, selenio y cromo, los cuales presentan mayor disponibilidad en suelos de pH alcalino.

Según Manzione y Merrill (1989) la adsorción de los metales y por tanto su solubilidad está fuertemente condicionada por el pH del suelo. Esta dependencia puede observarse en la Figura 1.3.

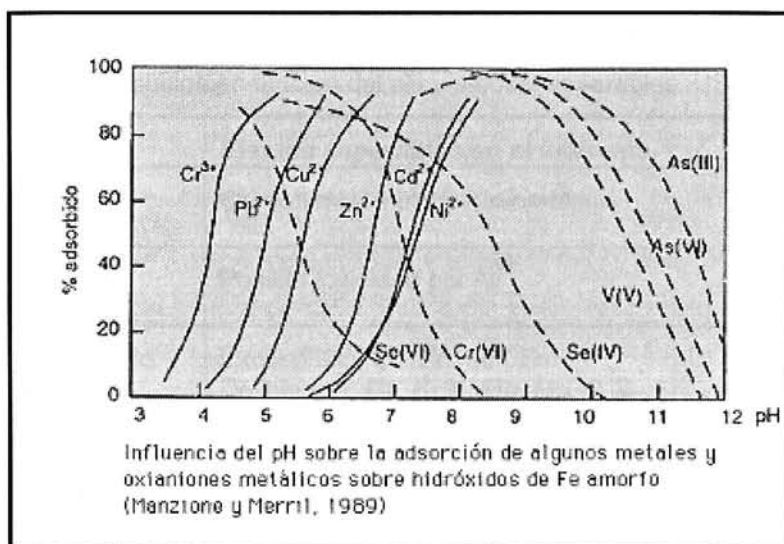


Figura 1.3: Influencia del pH sobre la adsorción de algunos metales sobre hidróxidos de hierro amorfo.

Se estudió la variación en la solubilidad de cobre y cadmio en suelos contaminados en función de los niveles de metal presente en el suelo, el pH y el contenido en materia orgánica. La influencia del pH también se pone de manifiesto al estudiar la distribución de metales entre suelo y disolución de suelo, observando un decrecimiento marcado de la disponibilidad del metal al incrementar el pH (Sauvé et al., 1997, 2000).

El pH es, por tanto, un parámetro importante para definir la movilidad de los diferentes componentes minerales, ya que su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes. En algunos los fija, disminuyendo su solubilidad aparente, con lo que las plantas no podrán absorberlos y por el contrario, en otros casos favorecerá su movilidad aumentando su solubilidad y haciendo que la concentración de las especies resultantes alcance niveles tóxicos (Krishnamurti, 2003).

En general se considera que el pH normal de los suelos está entre 6 y 7, los suelos con $\text{pH} < 4,5$ se consideran muy ácidos y los suelos de $\text{pH} > 8,5$ son alcalinos. En la tabla 1.1 se muestran los principales efectos esperables para los distintos intervalos de pH tal y como establece el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1971)

Tabla 1.1: Clasificación de los suelos en función del pH y efectos esperables. USDA 1971

pH	Evaluación	Efectos esperables en el intervalo
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5 – 5,5	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al^{3+}
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S Suelo sin carbonato cálcico Actividad bacteriana escasa
5,6 – 6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6,6 – 7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos Por debajo de $\text{pH} = 7,0$ el carbonato cálcico no es estable en el suelo
7,4 – 7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con carbonato cálcico
7,9 – 8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B
8,5 – 9,0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH básicos suelen deberse al MgCO_3 , si no hay sodio intercambiable
9,1 – 10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
> 10,0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable Toxicidad: Na, B Movilidad del P como Na_3PO_4 Actividad microbiana escasa Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo

Existen diversos métodos para la medida del pH, obteniéndose valores diferentes dependiendo del método utilizado, pudiéndose encontrar, para una misma muestra, valores de pH que varían entre 0,5 y 1,5 unidades (Tucker et al. , 1987), por lo que será necesario especificar el método aplicado. A continuación citamos los métodos más utilizados:

- pH de extracto con agua:

Se prepara una mezcla suelo-agua en diferentes proporciones peso-volumen (1:2; 1:2,5; 2:3) se agita durante una hora, se centrifuga y se mide el pH en extracto acuoso.

- pH de disolución con electrolito:

Las mezclas se realizan con la disolución de electrolito (habitualmente KCl ó CaCl_2) se agita durante una hora y se mide el pH directamente en la suspensión. El pH obtenido suele ser menor que el obtenido en otros métodos ya que se liberan mas protones al intercambiarse con los cationes del electrolito.

Nilson et al. (1995), han determinado el pH de distintos suelos utilizando tres reactivos distintos: agua, cloruro cálcico 0,01M y cloruro potásico 1M encontrando diferencias no solo en cuanto al reactivo utilizado, sino en función de la proporción disolución:suelo.

- pH en una suspensión:

Se preparan mezclas suelo-agua en distinta proporción peso-volumen, se agita durante una hora y se mide el pH directamente en la suspensión. El pH así medido es el que más se acerca al pH real del suelo. Si se deja sedimentar se puede medir el pH de la fase acuosa sobrenadante. Este pH suele ser mayor que el obtenido en la suspensión, lo que se conoce como efecto de suspensión.

Este último método es el utilizado en este trabajo realizando la comparación entre el pH obtenido en la suspensión y el pH del líquido sobrenadante.

Textura

El término textura se utiliza para representar la composición granulométrica del suelo. Cada término textural se corresponde con una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla.

La arcilla tiene un papel fundamental a la hora de caracterizar la contaminación de

metales pesados en suelos ya que influye sobre su movilidad. Tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos, carecen de esta capacidad de fijación por lo que los metales pesados pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos. Hooda y Alloway (1998), han encontrado correlación positiva entre el contenido de arcilla y los parámetros de retención de cadmio y plomo al estudiar las isotermas de adsorción, y correlación negativa respecto al contenido en arenas de distintos suelos.

Las combinaciones posibles en los porcentajes de arcilla, limo y arena pueden agruparse en unas clases texturales. La fracción de arcillas resulta ser la más determinante en el comportamiento de un horizonte y en consecuencia en el comportamiento del suelo que las restantes fracciones, debido a lo cual de forma sencilla pueden clasificarse los suelos atendiendo al contenido en arcilla como:

arenosos	< 10 % arcilla
francos	10 -30 % arcilla
arcillosos	> 30 % arcilla

La determinación de cada fracción se realiza por tamaño de partícula para lo cual se han establecido diversas clasificaciones granulométricas entre las que destacan la clasificación Internacional y la del USDA.

La textura de un suelo da una idea de su porosidad, parámetro que determina la permeabilidad del suelo es decir la velocidad con que agua y aire se mueven desde las capas altas a las más profundas. Otro parámetro importante que define la textura es la estructura, que da una idea de cómo se unen las partículas entre sí. Todos estos parámetros en su conjunto definen la capacidad del suelo en retener agua, airearse y en poder ser cultivado.

Las partículas de arcilla, dada su gran superficie específica, intercambian iones de la disolución del suelo, lo que hace que tenga un buen poder de retención de nutrientes.

No obstante, se compactan muy fácilmente, con lo que su capacidad de retención es buena, pero su capacidad de infiltración es baja. Es por esta razón que los suelos arcillosos suelen estar inundados.

En el lado opuesto están los suelos arenosos, los cuales, si bien son fácilmente cultivables, tienen poca capacidad de retención de agua y de nutrientes debido al gran tamaño de poros que los caracteriza. El suelo franco, es un suelo formado por una mezcla determinada de arcilla, arena y limo, que presenta unas propiedades óptimas para el cultivo. En concreto, la proporción de cada una de las fracciones inorgánicas que caracteriza un suelo franco gira entorno de un 40% de arena, un 40% de limo y un 20% arcilla.

Elkhatib et al., (1991), observaron que la retención de plomo en suelos era mayor en suelos calcáreos, seguido de suelos arcillosos, correspondiendo el menor valor a los suelos arenosos.

Mineralogía de las arcillas.

En el apartado anterior se ha hecho referencia a la capacidad que poseen las arcillas para retener los metales pesados del suelo.

El término arcilla se utiliza en mineralogía para designar el conjunto de minerales de pequeño tamaño de partícula, pertenecientes a la subclase de los filosilicatos. Son aluminosilicatos hidratados con estructuras de hojas, con espaciamientos y contenidos en los espacios interlaminares característicos para cada mineral.

Los minerales de la arcilla ejercen una gran influencia sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, como consecuencia de su pequeño tamaño de partícula, alta superficie específica y sus propiedades para intercambiar cationes (Porta et al., 1999).

Las unidades principales en la formación de los minerales de arcilla son disposiciones bidimensionales de tetraedros de silicio-oxígeno y disposiciones bidimensionales de

octaedros de aluminio o magnesio con oxígenos hidroxilos. La diferente unión de estas capas da lugar a los diferentes minerales con propiedades y comportamiento diferente en cuanto a la capacidad de adsorción de metales y de intercambio catiónico, de ahí la importancia de su caracterización.

Los tipos de minerales de arcilla laminares, se agrupan en cinco grupos diferentes:

Grupo de la Caolinita

No presenta sustituciones isomórficas significativas, lo que se traduce en una estructura eléctricamente neutra. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja y la carga, que depende del pH, es variable.

Arcillas micáceas: Ilitas

Son frecuentes en suelos del área mediterránea. Poseen un déficit de carga parcialmente equilibrado por K^+ inter laminar fijado, por lo que no es intercambiable. Al quedar bloqueadas sedes de intercambio, la CIC es menor de lo que sería de esperar atendiendo a las sustituciones isomórficas, aproximadamente es de $10-40 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$.

Grupo de las Esmeclitas

Presentan menos sustituciones isomórficas que la Ilitas, lo que hace que posean menor carga eléctrica de superficie. Las sustituciones isomórficas definen las diferentes especies minerales dentro del grupo. La capacidad de intercambio catiónico es alta, $80-150 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$. Son arcillas con una actividad coloidal, plasticidad y cohesión elevadas.

Grupo de las Vermiculitas

Su estructura se asemeja a la de una mica, de la que pueden proceder por meteorización, aunque poseen una carga menor. Su CIC es muy elevada, de 120 a $150 \text{ cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$ y la superficie específica de $600-800 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$.

Grupo de la Cloritas

Es un mineral relativamente poco frecuente en suelos, por su baja estabilidad. El mineral no es expandible y su CIC es baja similar a la de una illita, de 10 a 40 $\text{cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$. La superficie específica efectiva tiene un valor intermedio, de 70 a 150 m^2g^{-1} . Además de los minerales arcillosos anteriormente mencionados, pueden encontrarse minerales de arcilla interestratificados con propiedades intermedias respecto a los minerales componentes.

En definitiva, la capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

La diferencia en la estructura de caolinitas y esmectitas es notable y como consecuencia el comportamiento de ambas frente a procesos de adsorción de metales. Miranda-Treviño y Coles (2003), han analizado la adsorción de Pb, Zn y Cd a distintas concentraciones utilizando caolinita y diferentes tiempos de exposición, encontrando que se produce una reducción en el pH de la disolución de partida.

Salinidad

La salinidad viene determinada por el contenido en sales de un suelo y es un parámetro de influencia en la movilización de metales pesados (Doménech, 1997).

El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. En primer lugar, los cationes asociados con las sales (sodio y potasio) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar, los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como cadmio, cinc y mercurio.

Calmano et al., (1992), han demostrado la influencia de la salinidad en la movilización de metales pesados en sedimentos contaminados, incrementando la salinidad de las muestras mediante experimentos realizados en laboratorio. Los suelos con elevada

salinidad suelen ser suelos de pH básicos.

La conductividad eléctrica es la magnitud que se utiliza para caracterizar el grado de salinidad de un suelo, ya que esta directamente relacionada con la concentración de iones en disolución.

La medida de la conductividad del extracto acuoso de un suelo, permite establecer una estimación de la cantidad de sales que contiene. Este valor dependerá de la proporción suelo: agua ya que una mayor proporción en agua extrae más sales de las que realmente se encuentran libres cuando el suelo contiene su humedad propia. Además las especies iónicas extraídas, pueden ser diferentes a las que se encuentran presentes en los extractos del suelo. Una consecuencia del exceso de salinidad en los suelos es la aparición de calveros y por tanto la pérdida de la fertilidad.

Para medir la conductividad se utiliza el líquido sobrenadante obtenido en la medida del pH. Los suelos pueden clasificarse en función de su conductividad de acuerdo con los criterios de la Tabla 1.2

Tabla 1.2.- Criterios de salinidad para suelos (Doménech 1997)

Denominación	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
No salino	< 350
Ligeramente salino	350 – 650
Salino	650 – 1150
Muy salino	> 1150

Materia Orgánica.

La materia orgánica reacciona con los metales dando lugar a complejos de cambio o quelatos, de esta forma los metales migran con más facilidad a lo largo del perfil.

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales que pueden quedar en posición no disponible para las plantas. Por este motivo, algunas plantas de suelos con contenidos elevados en materia orgánica presentan carencias de elementos

como el cobre. El plomo y el cinc forman quelatos solubles muy estables.

Existen numerosos estudios sobre la influencia que la materia orgánica de suelo ejerce sobre la retención de los metales:

Elliot et al., (1985), han estudiado el efecto de la adsorción sobre Cd, Cu, Pb y Zn simultáneamente de la materia orgánica de los suelos, sugiriendo que un mayor contenido en materia orgánica incrementa la retención del cadmio sobre el cinc.

Neal y Sposito (1986), han investigado la adsorción de cadmio en pequeñas concentraciones por suelos con diferente composición química y mineralógica.

Sauvé et al., (1998), han estudiado el efecto que la materia orgánica y el pH tienen sobre la especiación de plomo en la disolución del suelo.

Strawn y Sparks (2000), en sus estudios sobre la influencia de la materia orgánica del suelo sobre la cinética y el mecanismo de las reacciones adsorción-desorción del Pb(II) en el suelo, encuentran que la materia orgánica tiene un papel importante en los procesos en los que se produce una baja desorción del metal.

Kashem y Singh (2001), comprobaron al estudiar el efecto de aplicación de materia orgánica en campos de arroz, que la concentración de metal soluble era mas baja en los suelos tratados con materia orgánica y que esta variación se relaciona con cambios en los valores de pH y potencial para esos suelos.

Impellitteri et al., (2002), han estudiado la correlación entre la fracción de materia orgánica en disolución, en función del pH, y la desorción de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn de 18 suelos alemanes poniendo de manifiesto que el efecto del carbono orgánico disuelto en la movilización de Cd, Ni y Zn solo se produce en sistemas que se encuentran a pH muy elevados.

Yanzheng Gao et al., (2003), han investigado el efecto de ácidos orgánicos en los procesos de desorción de Cd y Cu en suelos contaminados, encontrando que la presencia de citrato y tartrato a bajas concentraciones inhibe la desorción de cadmio, mientras que a altas concentraciones aparentemente la promueve.

Como ha podido comprobarse, la formación de complejos por la materia orgánica del suelo, es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad y disponibilidad de los metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación de los organismos del suelo, es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Aún así, hay que tener en cuenta que también la presencia de abundantes complejos puede reducir la concentración de los iones tóxicos en la disolución del suelo.

La materia orgánica representa una parte pequeña en peso de un suelo y sin embargo juega un importante papel al determinar la fertilidad del suelo. Sirve como fuente de alimento a los vegetales y microorganismos y participa en diversos procesos químicos edáficos afectando a las propiedades físicas del suelo. A veces participa en los procesos de meteorización de la materia mineral movilizandoc cationes metálicos y facilitando nutrientes a los organismos vivos.

El humus corresponde a aquel conjunto de sustancias poliméricas, de coloración que va de amarilla a marrón negruzca, cuyas moléculas tienen pesos moleculares altos y que son resistentes a la descomposición. La mayor parte es insoluble, siendo esta la razón por la que se acumula en los horizontes más superficiales del suelo.

La variación del contenido en materia orgánica en gran medida depende del tipo de cultivo del suelo o tipo de vegetación así como de la estación del año. En suelos arenosos, aquellos con menos de un 10% de arcilla, normalmente suelen ser pobres en materia orgánica debido a una fuerte mineralización producida por una aireación

excesiva. En suelos con 10% - 30% de arcilla, no importa que los niveles de materia orgánica sean un poco inferiores a los de suelos arenosos, ya que la adecuada presencia de arcilla es de por sí suficiente para reforzar la acción del complejo arcillo-húmico.

En cuanto a los suelos arcillosos, más del 30% de arcilla, los niveles de materia orgánica suelen ser altos, por mineralización deficiente debida, a falta de aireación, y por eso mismo interesa además mantener niveles lo más altos posibles con el fin de favorecer esta aireación, creando un complejo arcillo-húmico equilibrado en ambos componentes. En resumen podemos concluir que la materia orgánica ejerce una influencia importante en las propiedades del suelo. Sus efectos más beneficiosos son:

- Contribuye de modo importante al crecimiento de la vegetación, proporcionando elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y azufre en cantidades importantes.
- Es una fuente de energía para los microorganismos.
- Regula la disponibilidad de muchos cationes metálicos que actúan como micronutrientes y de cationes tóxicos mediante la formación de complejos estables.
- La presencia de funciones ácidas en muchas de las moléculas de la materia orgánica favorece una acción tamponante ayudando al mantenimiento del pH.
- Capacidad de retención de agua, con lo que evita la desecación.
- La fracción húmica, debido a su capacidad adherente, favorece la formación de agregados, mejorando la estructura granular del suelo, favoreciendo la permeabilidad y aumentando la aireación.

La materia orgánica determinada en el suelo puede ser la total, que incluye residuos sin transformar o bien la correspondiente al "humus estable" que resulta ser más significativa. En el primer caso se emplea un método de calcinación y en el segundo el método de Walkley-Black (1974).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Se define como el número de moles de iones de carga positiva adsorbidos, que pueden

ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas unidades dadas de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación masa-solución dada (Sposito, 1989)

En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y de su radio iónico hidratado, a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

La CIC de un suelo variará de horizonte a horizonte y en cada uno de ellos dependerá del tipo de arcillas y de los componentes orgánicos.

Dado que la carga neta procede de cargas permanentes y de cargas variables, la CIC depende del pH, lo que se hace notorio en aquellos horizontes con una proporción elevada de cargas variables. Por ello, el valor obtenido por la CIC de un suelo ácido será menor si se determina al pH del suelo, que si se utilizan soluciones tamponadas a mayor pH.

Potencial redox.

La disponibilidad y movilidad de los metales pesados en el suelo, depende del estado de oxidación en que se encuentren y por tanto del potencial redox del suelo en unión a la variación del pH. La solubilidad de los metales depende del pH pero no son las mismas en condiciones oxidantes o reductoras. Según Kiekens (1984), la solubilidad de cinc, cadmio, cobre y plomo es mucho menor en condiciones reductoras que en condiciones oxidantes cuando se encuentran en medio ácido, probablemente debido a la formación de complejos organominerales y a la formación de sulfuros.

Carbonatos.

Los carbonatos minerales son componentes mayoritarios de los suelos carbonatados y constituyen importantes superficies de adsorción para metales pesados. Su presencia puede tener efectos directos e indirectos sobre la movilidad y reactividad de los metales

pesados: directa a través de las interacciones superficiales e indirecta a través de su efecto sobre el pH del suelo.

El carbono de los carbonatos del suelo, en contraste con el carbono orgánico, se presenta en forma de carbonatos poco solubles de metales alcalinotérreos, como CaCO_3 (calcita), $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (dolomita). Aparecen en fragmentos de dimensiones variables, desde pedruscos y guijarros hasta polvo fino. Un suelo es calizo a partir de un 10% de carbonato cálcico, existiendo exceso de caliza cuando este valor supera el 20%.

Cuando un suelo es calizo influye en primer lugar en la textura, ya que favorece la rápida destrucción de la materia orgánica del suelo contribuyendo al empobrecimiento en humus. Además, eleva el pH por encima de 7 bloqueando en formas insolubles ciertos elementos nutrientes indispensables para la planta, como el hierro, dando lugar en este caso a la llamada "clorosis férrica". Otros micronutrientes afectados de la misma manera son el manganeso, zinc y cobre, produciéndose en estos casos lo que se denominan enfermedades "carenciales". También el fósforo se ve afectado por la caliza que lo retrograda a formas insolubles. De manera parecida también se ven afectados el potasio y el magnesio.

Cationes Intercambiables

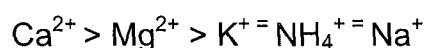
La carga negativa predominante de los coloides del suelo produce la retención de cationes y reduce su pérdida por lixiviación dejándoles disponibles para la vegetación sobre todo los iones sodio, potasio, calcio y magnesio los cuales debido a su tamaño y baja carga precipitan con mucha dificultad (Yagodin, 1986).

Estos iones permanecen adsorbidos en las partículas coloidales, con lo que puede intercambiarse por otros iones de la disolución del suelo, por ello se denominan intercambiables. Se extraen normalmente con una disolución de acetato amónico a $\text{pH}=7$. Como los valores de los cationes solubles son tan pequeños, muchas veces se equipara el valor del catión extraíble al del catión intercambiable ya que su resta apenas

cambia el resultado

Se pueden distinguir de los iones solubles en que mientras los intercambiables se extraen con una disolución de una sal neutra, estos se liberan al hacer pasar agua. Cabe distinguir además los iones fijos, como los que están muy unidos a los silicatos, de tal manera que no se pueden recuperar por medio de procesos de intercambio como es el caso del potasio en las micas.

Por lo general en suelos productivos el orden de iones intercambiables según la abundancia es el siguiente:



La importancia de estos cationes no es solo como parte del complejo de cambio sino también como elementos nutritivos, mantenimiento de la actividad biológica, estructuración del suelo y neutralización de la acidez del suelo (Yagodin, 1986).

Sodio.

Aunque la falta de sodio no se considera un problema, cuando se encuentra en exceso en los suelos si puede serlo por su exceso. Los suelos sódicos están sometidos a la influencia de una capa de agua salada poco profunda, rica en sales de sodio; la sal sube por ascenso capilar. En estos suelos, la presencia del catión Na^+ satura el complejo de cambio y su concentración es mayor que la de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Los suelos sódicos poseen características físicas inadecuadas, por su facilidad de formar suspensiones coloidales (Rubin, 1984).

Los suelos alcalinos son suelos con salinidad débil o nula, pero ricos en sodio de cambio y dependen del agua atmosférica. Las disoluciones del suelo no contienen sales neutras sino sales alcalinas (carbonatos, bicarbonatos de sodio), sales que elevan fuertemente el pH (superior a 8,5 y a veces 9 ó 10).

Potasio

El potasio puede encontrarse en el suelo en formas fácilmente solubles o insolubles, ligado a los minerales primarios o parcialmente transformados. En la disolución del suelo, la concentración de K^+ es generalmente de unas pocas partes por millón. Los valores más frecuentes son de 0.04mg/g a 0.2mg/g, aunque en ocasiones pueden encontrarse más de 2mg/g.

El potasio puede perderse por lavado y por erosión. También puede ser fijado por minerales arcillosos, quedando disponible lentamente.

La pérdida por lavado depende del clima y de la naturaleza del suelo: los suelos con gran capacidad de cambio tienen menores pérdidas que los arenosos. En climas lluviosos y en suelos con poca capacidad de cambio, las pérdidas de potasio pueden ser grandes. Sin embargo, en general, la concentración de potasio es constante para una profundidad de 90cm.

Así como el fósforo, el potasio se redistribuye fácilmente de los órganos maduros a los más jóvenes. A diferencia del fósforo, el potasio no forma parte estructural estable de ninguna molécula dentro de las células de la planta, a pesar de lo cual, cosa sorprendente, la planta necesita grandes cantidades de este elemento para un crecimiento y desarrollo normal. Es un elemento esencial porque actúa como activador de muchas enzimas. La síntesis de proteínas es un proceso que requiere grandes cantidades de potasio, aunque la exacta reacción química en que interviene no ha sido aun definida con certeza. Esto probablemente explique el hecho, conocido desde antaño, de que las plantas deficientes en potasio tienen un contenido bajo en proteínas, pero rico en los aminoácidos que forman parte de ellas (Yagodin, 1986; Vázquez, 1982).

Magnesio

Este elemento parece desempeñar por lo menos dos papeles importantes en las plantas verdes. Es parte integrante de la molécula de clorofila y por ello es esencial, y en su

ausencia se desarrolla clorosis entre las nervaduras, comenzando por las hojas viejas. Se conoce, por ejemplo, su acción sobre reacciones que utilizan la energía del ATP (Cinosas). Probablemente el magnesio se combina con el ATP, facilitando así la ruptura de los enlaces. También actúa como activador de algunas enzimas del ciclo de Krebs, en la activación y síntesis de ácidos grasos, en la síntesis de nucleótidos purínicos y en muchas otras reacciones individuales. También es esencial que haya cantidades apropiadas de magnesio para mantener la estructura de los ribosomas, orgánulos subcelulares que llevan a cabo la síntesis de proteínas (Devlin, 1979; Sivori, 1980).

Los umbrales de carencia varían entre un 0.02-0.03% en suelos ligeros y un 0.04% en suelos pesados y en cultivos extensivos. No existen umbrales de toxicidad, sin embargo un exceso de K^+ puede provocar la carencia inducida de magnesio.

Calcio

Buena parte de este elemento se encuentra en la planta dentro de las vacuolas, donde a menudo precipita como cristales de oxalato de calcio. A veces se encuentran depósitos sólidos del oxalato de calcio y aun de carbonato de calcio a lo largo de los haces vasculares de la hoja, y en algunos casos probablemente se forman sales de calcio insolubles con iones sulfato y fosfato. También se encuentra calcio en las paredes celulares, donde se cree que forma sales relativamente insolubles al reaccionar con los ácidos pécticos de la laminilla media. Se piensa que esos pectatos de calcio actúan cementando entre sí las células de un tejido, lo cual de ser cierto, podrá explicar por qué la deficiencia del calcio causa una inhibición notoria en el crecimiento de brotes y también la muerte de los ápices de las raíces, donde la división celular es más activa.

Algunas enzimas como la amilasa, parecen requerir calcio como activador; pero en otros casos se ha observado que, por el contrario, tiene poco efecto estimulante, posiblemente por interferencia debido al magnesio. Posee un efecto favorable como estabilizante de la fracción húmica característico de los suelos con exceso de carbonatos, por tanto es un indicador de la capacidad nutricional. El calcio puede dar lugar a la formación de fosfatos solubles (fosfatos monocálcicos) pero un exceso de

calcio intercambiable origina la formación de fosfatos cálcicos insolubles y clorosis férrica en los vegetales. Sin embargo, posee un efecto positivo como floculante de arcillas y contribuye ampliamente a la organización de la estructura del suelo y a la estabilidad del mismo (Devlin, 1979; Sivori, 1980).

Otros elementos: **Fósforo:**

El fósforo es vital para el metabolismo de la planta. En las hojas tiernas de tabaco, alrededor de un 30% de fósforo está presente en forma de ácido ribonucleico y un 7% como ácido desoxirribonucleico. La fotosíntesis, la fosforilación y los procesos vitales subsecuentes vinculados al ciclo de Krebs, como metabolismo del nitrógeno, hacen del fósforo uno de los elementos más importantes en el crecimiento de la planta. La movilidad del fósforo en el suelo es bastante pequeña y muchos suelos tienen la propiedad de fijarlo en forma relativamente inasequible para las plantas.

La planta joven empieza a absorber fósforo en una fase muy temprana, por lo que dada la escasa movilidad de este en el suelo se debe efectuar una aplicación cuidadosa antes o en el momento de plantar. Esto permitirá un uso más eficiente de los fertilizantes fosfatados (Sivori, 1980).

Hierro:

Las plantas deficientes en hierro se caracterizan por el desarrollo de una pronunciada clorosis internerval, similar a la causada por las deficiencias de magnesio, pero en las hojas jóvenes. Una vez que el átomo de hierro ha sido incorporado a un órgano su distribución es extremadamente limitada. Algunas plantas presentan problemas de clorosis de hierro en suelos calcáreos, por lo cual se han hecho muchos esfuerzos para explicarlo. La teoría más simple es la que señala que el carbonato de calcio del suelo vuelve al hierro tan insoluble que las plantas no logran absorber cantidades suficientes. Sin embargo, en algunos casos se encontró que las plantas que sufren este tipo de clorosis tienen un contenido total de hierro igual (y a veces superior) al de las plantas normales. Eso indicaría que no es la cantidad de hierro presente en la planta la que determina su estado nutricional, sino posiblemente una afección activa de aquel. Es

posible que parte del hierro de esas plantas esté inactivado, precipitado o confinado en un comportamiento en el cual no puede cumplir su función normal (Devlin, 1979; Sivori, 1980).

Manganeso:

El manganeso existe en el suelo en varios estados de oxidación, pero se considera que se absorbe mayormente como ion bivalente. Parece ser que el elemento en ese estado es más estable en la planta. No son muy comunes las deficiencias de manganeso, pero a veces se presenta junto con una deficiencia de hierro. Esto ocurre cuando hay exceso de carbonato de calcio en el suelo. Los síntomas iniciales consisten a menudo en una clorosis internerval en las hojas viejas o jóvenes, según la especie, asociada con lesiones necróticas (Vázquez, 1982; Sivori, 1980; Devlin, 1979).

Boro:

El boro se absorbe del suelo principalmente como ion BO_3^{2-} soluble. El boro es bastante inmóvil y se redistribuye muy pobremente de un tejido u órgano a otro. En contraste con otros elementos esenciales, la función del boro en las plantas no está aun bien definida. Se ha sugerido que actúa en el traslado de hidratos de carbono y está bien establecido que el movimiento de azúcares por el floema es realmente reducido cuando el nivel de boro es bajo. Parece ser, sin embargo, que este elemento tiene también otras funciones, como por ejemplo favorecer la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Vázquez, 1982; Sivori, 1980; Devlin, 1979).

Cobre:

Las plantas raramente presentan deficiencias de cobre. Las hojas jóvenes se tornan a menudo de un color verde oscuro y retorcidas o deformadas pueden provocar la muerte a las hojas jóvenes. El cobre se absorbe principalmente como ión cúprico o cuproso. Probablemente exista en las plantas sobre todo en forma cúprica, a pesar de que sufren oxidaciones y reducciones alternadas pues actúa como transportador de electrones, principalmente con enzimas llamadas polifenoloxidasas. Forma parte de la plastocinina, un compuesto que integra la cadena fotosintética de transporte de electrones, y tal vez

de la nitrito-reductasa. Podría también desempeñar un papel catalítico en la fijación de nitrógeno y en otros procesos químicos de la planta (Navari-Izzo et al., 1998 citado por Eija Pätsikkä, et al. 2002).

Zinc:

Ocupa el segundo lugar en un grupo de micronutrientes que forman parte de estructuras enzimáticas. Aparte la distinción de síntomas de deficiencia, la situación es muy parecida a la descrita para el cobre. Todavía no se ha observado carencia en el terreno en lo que se refiere al tabaco, y las cantidades requeridas son muy pequeñas. Una función importante del zinc es su relación con la hormona del crecimiento llamada auxina. La conexión con desarrollo y movilidad en la planta se reflejan en el hecho de que los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más antiguas. El exceso de zinc es tóxico, pero los síntomas no han sido descritos (Podar, et al., 2004).

Plomo:

La presencia del Plomo como contaminante puede producir en las plantas una inhibición del crecimiento, de la fotosíntesis y de la acción enzimática. El Plomo es un metal pesado que, hasta donde se sabe, no cumple ninguna función fisiológica normal en el hombre, se distribuye ampliamente y de forma natural en el ambiente, y posee una gran cantidad de usos. En los últimos diez años los contenidos de plomo de los productos alimenticios se han reducido debido a los esfuerzos realizados para reducir la emisión del plomo en su origen (Wagner 1986).

El plomo es uno de los contaminantes que se encuentra más ampliamente distribuido en la naturaleza. La deposición atmosférica de Plomo en los vegetales es la vía principal de entrada de éste metal en la cadena alimentaria, mientras que apenas existe incorporación desde el suelo a través de las raíces de las plantas.

Los agentes y las vías de contaminación por metales pesados en las aguas residuales de origen urbano son igualmente diversos, destacando los vertidos ilegales a la red de alcantarillado de aceites lubricantes usados con alto contenido de plomo.

Cadmio

El Cadmio no es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. A concentraciones relativamente bajas, incluso antes de que se detecten los síntomas, el Cd añadido al suelo puede elevar drásticamente el nivel de Cd en los tejidos vegetales. El contenido de Cd podría llegar a ser un factor limitante en la aplicación de algunas aguas residuales a la tierra, especialmente en cultivos para el consumo de las personas y de los animales (Olson y Guinn, 1978; Crook, 1984). Westcot y Ayers, (1985) fijan la concentración máxima de Cd en 0,01 mg/l considerando un riego de 1.200 mm/año (Ayers y Westcot, 1987).

En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos. El contenido de metal fácilmente liberable y por tanto disponible para las plantas y otros organismos, recibe el nombre de metal biodisponible. La determinación de la forma química en que se encuentra presente un metal recibe el nombre de especiación.

Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes y también los geles van envejeciendo y se van volviendo más cristalinos.

En general, se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial, seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad, es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

Esto pone de manifiesto el interés que el análisis por horizontes, llevado a cabo en el segundo estudio tiene a la hora de establecer que la concentración fondo no es debida

a contaminación exterior. Un ejemplo de estudio de contaminación de suelos teniendo en cuenta el horizonte de pertenencia de las muestras colectadas es el llevado a cabo por Alonso Martirena (1998) y Abollino et al., (2002).

1.4.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SUELOS.

Desde el punto de vista analítico, conviene resaltar el hecho de que no existe acuerdo sobre el método para la determinación del contenido en metales pesados de un suelo. La elección y el desarrollo del procedimiento de medida viene determinado por los objetivos fijados para cada estudio en concreto, de esta forma el procedimiento será diferente al determinar la contaminación de una zona, realizar la caracterización de un suelo o bien, estudiar las diferentes formas químicas, especiación, en las que se encuentra el metal. El procedimiento también varía cuando se trata de determinar el contenido total en suelos, o bien se determina únicamente el contenido biodisponible o extraíble.

En todos los casos, el procedimiento de análisis consta de una serie de etapas que deberán desarrollarse sucesivamente hasta alcanzar el objetivo propuesto. Estas etapas que van desde el muestreo hasta la presentación de los resultados, pasando por el pretratamiento de la muestra son igualmente importantes (Quevauviller y Rauret, 1994) y resultan determinantes para garantizar la representatividad y fiabilidad de los resultados en los estudios de contaminación y de evaluación de la calidad del suelo (Theocharopoulos et al., 2001). La importancia de estas etapas justifica su estudio con mayor profundidad.

La estrategia de muestreo desarrollada en cualquier estudio o investigación medioambiental es muy importante para la interpretación de los resultados obtenidos. Asegurar la reproducibilidad de los resultados es clave para comparar resultados de suelos de diferentes localidades. Si se tiene en cuenta que en numerosas ocasiones estos resultados corresponden a muestras obtenidas, tratadas y analizadas por diferentes personas y en algunos casos utilizando diferente metodología, resulta obvio

la necesidad de llevar a cabo una armonización de los métodos empleados en la etapa de muestreo dentro del procedimiento general de análisis.

En el pretratamiento de la muestra se incluyen todas aquellas operaciones necesarias para mantener la muestra de suelo inalterada o en su defecto que permitan una mayor estabilidad de la misma. Dentro de este apartado se han considerado la operación de secado al aire (Ure, 1994) que facilita el manejo de la muestra y aumenta su estabilidad en el tiempo y el tamizado menor que 2mm, operaciones que se utilizan en la mayoría de las determinaciones de metales pesados en suelos.

En este sentido, el procedimiento a seguir varía dependiendo de si se trata de la determinación de contenidos totales o bien se pretende determinar niveles disponibles o móviles. En el primer caso el procedimiento consistiría en una digestión, mientras que en el segundo caso se trataría de la extracción de la muestra con un reactivo líquido adecuado. Ambos procedimientos difieren tanto en el reactivo seleccionado, como en el tratamiento al que se somete la muestra y conducen a resultados cuya valoración es claramente distinta.

El contenido total de metales pesados en suelos es el parámetro utilizado en el establecimiento de los niveles fondo (background) y niveles de referencia. No resulta representativo en el establecimiento de la contaminación por metales pesados, pero resulta indicativo acerca de si la muestra presenta concentraciones elevadas. También resulta de utilidad en el análisis de suelos con alta Capacidad de Intercambio Catiónico, tal y como establece Gupta (1984), ya que al analizar la solución del suelo puede ocurrir que los niveles de metales pesados encontrados no sean excesivos, dado que se encuentran adsorbidos, por lo que deberá determinarse el contenido total.

La determinación del contenido total de metales pesados en muestras de suelos requiere realizar un tratamiento enérgico de la muestra, normalmente en caliente. Este tratamiento se realiza normalmente por fusión o por digestión ácida empleando una mezcla de ácidos minerales en caliente.

Los sistemas de calentamiento utilizados, también han sido muy variados. Así podemos encontrar que se ha utilizado el baño de arena (Mc Grath, 1995), placas eléctricas y reactores a presión (Kowalewska et al., 1998; Wei et al., 1997) o por medio de bloques de aluminio (Ansorena et al., 1995; Tam y Yao, 1999).

La introducción del tratamiento con microondas, tanto en sistemas abiertos como cerrados, ha supuesto una considerable reducción en el tiempo total de análisis, así como una reducción en el riesgo de contaminación, tal y como se pone de manifiesto en los estudios llevados a cabo por Jin et al., (1999). Además este tratamiento en abierto facilita la evaporación a sequedad, reduciendo de esta forma los problemas analíticos asociados a la presencia de concentraciones elevadas de ácido (Smith, 1996; Nakhasima, 1998).

Cuando se pretende realizar una digestión total, es necesario el empleo de HF, pero es un tratamiento largo y peligroso.

Desde la existencia del método ISO 11446 (ISO 11446, 1995), la extracción con agua regia es uno de los métodos mas utilizados, bien empleando reflujo (Ansorena et al., 1995), o con el empleo de calentamiento por microondas (Florian et al., 1998; Betinelli et al., 2000).

La US EPA (Environmental Protection Agency) ha recomendado el empleo del ácido nítrico asistido por microondas (EPA method 3051, 1994) para la determinación en sedimentos y suelos de los siguientes metales: Al, Sb, As, B, Ba, Be, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Ag, Na, Sr, Ta, V y Zn. El método consiste en el tratamiento de 0,5 g de suelo con 10 ml de ácido nítrico concentrado y calentamiento durante 10 minutos mediante microondas.

Recientemente, Sastre et al., (2002), han llevado a cabo la validación y comparación de tres métodos de digestión para la determinación de Cd, Zn, Cu y Pb en distintas

muestras medioambientales: digestión con HF y microondas(MW-HF) frente al tratamiento convencional con agua regia y frente a la digestión con ácido nítrico sin la utilización de microondas, encontrando resultados similares entre los primeros métodos cuando la determinación se lleva a cabo en muestras de bajo contenido en materia orgánica, mientras que en muestras con alto contenido en materia orgánica los resultados de la digestión con HF concuerdan con los obtenidos mediante el ataque con ácido nítrico cuando se analiza Cd, Zn, y Pb, pero son superiores en el caso del Cu.

Sandroni et al., (2003), han desarrollado una técnica de digestión con una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico mediante microondas para la determinación de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cr, Cd, Cu, Pb y V en suelos y sedimentos y los resultados obtenidos al aplicarla a diferentes materiales de referencia muestran que el método propuesto conduce a buenos resultados. En este trabajo se ha utilizado el método de digestión total con ácido nítrico.

Determinación del contenido biodisponible

La cantidad total de metal pesado en un suelo, resulta una medida poco representativa de su toxicidad y disponibilidad. Existen diferentes formas químicas en las que estos metales se pueden encontrar. En suelos no contaminados están principalmente unidos a silicatos y a minerales primarios formando especies relativamente inmóviles, mientras que en suelos con contaminación antropogénica los metales se unen a otras fases del suelo presentando mayor movilidad.

La determinación de las diferentes formas químicas en las que un elemento se encuentra dentro del suelo (Ure y Davidson, 1995), proporciona mayor información sobre la movilidad y por tanto su disponibilidad para la planta, pero esta determinación es difícil e incluso imposible en algunos casos.

Se han desarrollado algunas aproximaciones para caracterizar la disponibilidad de los distintos metales, que o bien se basan en provocar la desorción de estos elementos de la fase sólida del suelo o bien en la adsorción de contaminantes desde una disolución

que los contiene hacia el suelo. De entre estos dos tipos, los más utilizados son sin duda los que estudian la desorción de los metales desde el suelo hasta un reactivo líquido determinado. En esencia, se trata de procesos de extracción que difieren unos de otros según sean las propiedades químicas de la disolución extractante, la modalidad operativa empleada, el tipo de suelo y la naturaleza del elemento a determinar.

Los métodos desarrollados en este sentido pueden a su vez agruparse en dos grandes grupos: los procedimientos de extracción simple y los procedimientos de extracción secuencial también llamados esquemas de extracción, estos últimos también se denominan esquemas de especiación.

Los procedimientos de extracción simple consisten en la extracción de una muestra de suelo común único agente extractante. En los procedimientos de extracción secuencial se aplica sobre la misma muestra de suelo y de manera sucesiva distintos agentes extractantes con propiedades diferentes.

El número de métodos propuestos correspondientes a cada grupo, simple y secuencial, es muy elevado y resultan diferentes entre sí, tanto en el tipo y características del extractante propuesto, como en las condiciones de realización. La naturaleza del extractante y los diferentes procedimientos empleados han sido objeto de revisión por diferentes autores entre los que destacan Pickering (1986); Lebourg et al., (1998); Rauret (1998) y Sahuquillo et al., (2003).

Procedimientos de Extracción Simple.

En la bibliografía pueden encontrarse un gran número de estudios de contaminación de suelos por metales pesados en los que se utilizan los procedimientos de extracción simple. Entre ellos cabe citar los realizados por Lindsay y Norwell (1978); Lake et al., (1984); Gupta y Aten (1993); Ure et al., (1993); Ure (1996), Singh et al., (1996) y Novozamski et al., (1993). Los esquemas de extracción simple desarrollados se agrupan en cuatro grandes grupos atendiendo a la naturaleza del extractante empleado:

extracción ácida, agentes complejantes, disoluciones tampón y disoluciones salinas no tamponadas.

La Tabla 1.3 recoge algunos de los procedimientos de extracción simple más utilizados. Puede observarse, que existe un amplio espectro de reactivos extractantes, de forma que encontramos desde ácidos muy fuertes como agua regia, ácido nítrico o ácido clorhídrico hasta disoluciones neutras de sales de pH no tamponado como es el caso del cloruro cálcico o nitrato sódico.

Tabla 1.3.- Procedimientos de extracción simple mas utilizados. Adaptado de Rauret, 1998

Grupo	Reactivo extractante	Autor
Extracción ácida	HNO ₃ 0,43 – 2 M Agua regia HCl 0,1 – 1 M CH ₃ COOH 0,1 M HCl 0,05 M + H ₂ SO ₄ 0,0125 M	Novozamski et al., 1993 Colinet et al., 1983 Novozamski et al., 1993 Ure et al., 1993 Mulchi et al., 1992
Agente complejante	EDTA 0,01 – 0,05 M a diferentes pH DTPA 0,005 M + TEA 0,1 M CaCl ₂ 0,01 M	Novozamski et al., 1993 Lindsay y Norwell, 1978 Novozamski et al., 1993
Disoluciones tampón	NH ₄ AcO/HAcO 1 M tamponado a pH=7 NH ₄ AcO/HAcO 1 M tamponado a pH=4,8	Ure et al., 1993 Novozamski et al., 1993
Disoluciones salinas no tamponadas	CaCl ₂ 0,1 M CaCl ₂ 0,05 M CaCl ₂ 0,01 M NaNO ₃ 0,1 M NH ₄ NO ₃ 1 M AlCl ₃ 0,3 M BaCl ₂ 0,1 M	Novozamski et al., 1993 Novozamski et al., 1993 Novozamski et al., 1993 Gupta, 1993 Novozamski et al., 1993 Hughes y Noble, 1991 Juste y Solda, 1998

Los reactivos pertenecientes a los grupos extractantes ácidos, o formadores de complejos, son probablemente los más utilizados para la extracción ya que dan lugar a compuestos bastante estables y solubles en agua con un número elevado de cationes.

Además de los reactivos mencionados en la Tabla 1.3 se ha utilizado el agua caliente como extractante para la determinación de boro y también disoluciones de hidróxido sódico para valorar la influencia de la materia orgánica en la liberación de los metales pesados.

Teniendo en cuenta que solo se han recogido los métodos más utilizados y por tanto, que el número de los existentes es bastante mayor, cabría preguntarse cuál es la razón de esta diversidad de métodos. La razón debe buscarse en la complejidad de los mecanismos y de las reacciones en los que los metales pesados intervienen como son los equilibrios de disolución, adsorción y complejación por lo que encontrar un extractante que defina y represente perfectamente la forma química y la movilidad de un metal en el suelo es prácticamente imposible. Si además buscamos un reactivo que represente la capacidad de adsorción por parte de las raíces de las plantas para varios elementos simultáneamente, aún resulta más complicado de conseguir.

En este sentido Singh y Narwal (1984), realizaron un estudio comparativo entre la acción de distintos extractantes para la determinación del contenido de Cd, Pb, Zn, Co, Ni en un suelo ácido ($\text{pH} = 5,6$) y el nivel del elemento en planta de colza. El orden de extractabilidad obtenido es: $\text{HNO}_3 > \text{agua regia} > \text{HCl} > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NH}_4\text{AcO a pH } 4,8 > \text{NH}_4\text{AcO a pH } 7 > \text{DTPA} = \text{CaCl}_2 = \text{TEA}$. El estudio de las correlaciones con los niveles en planta pusieron de manifiesto que en el caso de Zn, Co, y Ni no existía una buena correlación con ninguno de los reactivos probados, aún así propusieron el uso del DTPA ya que mostraba una buena correlación para plomo y cadmio.

El objetivo perseguido y claramente inalcanzable en todo caso, es el de obtener un extractante universal que permitiera determinar el contenido biodisponible de un gran número de metales, que los resultados proporcionados estuvieran perfectamente correlacionados con los niveles detectados en planta, y por lo tanto que los resultados obtenidos de diferentes estudios pudieran compararse.

De esta forma y a través de trabajos empíricos se han ido seleccionando los extractantes mas adecuados para la determinación de cada uno de los metales pesados. En este sentido y gracias al desarrollo de las técnicas analíticas empleadas y a las evidencias respecto a que el contenido de metal en el suelo que más se correlaciona con el disponible para las plantas, es el metal denominado intercambiable, hace que los procedimientos en general mas aceptados, sean aquellos que utilizan reactivos extractantes menos agresivos.

Estos reactivos denominados extractantes suaves, están constituidos por disoluciones de sales no tamponadas, algunas disoluciones diluidas de ácidos y determinados agentes complejantes. La razón de su utilización estriba en que las sales neutras disuelven principalmente el metal intercambiable, aunque debe tenerse en cuenta las características del anión. Los ácidos diluidos y los agentes complejantes extraen, a veces parcialmente, el metal intercambiable, unido a carbonatos, unido a óxidos de hierro y manganeso y a la materia orgánica.

Actualmente se acepta el hecho de que los extractantes no son selectivos y que cualquier variación en el procedimiento analítico tiene efectos significativos sobre los resultados obtenidos. En base a estas consideraciones algunos países han estudiado la posibilidad de adoptar determinados procedimientos como oficiales.

La disparidad de métodos existentes en los distintos países europeos, pone de manifiesto la necesidad de unificar criterios. Desde 1987, el EC Standards Measurement and Testing Programme, antiguamente BCR (Bureau Community of Reference) ha subvencionado diversos proyectos destinados a conseguir el aseguramiento de la calidad y la armonización de los métodos de medida y ensayo de contaminantes en suelos en los distintos países, en cuanto al muestreo, el pretratamiento de la muestra y el análisis de suelos (Quevauviller 1995, 1998; Quevauviller y Maier 1995; Rubio y Vidal, 1995; Theocharopoulos et al., 2001; Wagner et al., 1998, 2001; Rauret 1998; Sahuquillo et al., 2003), adoptando como reactivos para la determinación del contenido disponible de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn, el ácido acético

0,43M y EDTA 0,05M en suelos minerales.

Estos estudios se han realizado no sólo para unificar criterios entre los diferentes métodos, sino como punto de partida para la elaboración de materiales de referencia certificados de los distintos metales pesados que permitan llevar a cabo la validación de los diferentes procedimientos analíticos (Quevauviller et al., 1994).

Sahuquillo et al. (2003) han llevado a cabo un estudio comparativo de extractantes de los tres grupos principales: los denominados suaves (CaCl_2 y NaNO_3), ácidos (ácido acético) y complejantes (EDTA) en muestras de suelos con distinto origen y características.

De la comparación de los dos extractantes suaves concluyen que, aunque para la mayor parte de los metales pesados los resultados son similares, en el caso del cinc y el cadmio, es recomendable la utilización de CaCl_2 frente a NaNO_3 ya que el CaCl_2 solubiliza niveles mas altos de estos metales, por lo que a la hora de valorar un posible riesgo, resulta un criterio mucho más restrictivo. La causa de la mayor solubilidad, se explica por el hecho de que estos metales son adsorbidos normalmente en posiciones de catión intercambiables, de las cuales son fácilmente desplazados por iones divalentes como el Ca^{2+} . Además la presencia de cloruro facilita el desplazamiento al formar complejos con esos metales.

Por otro lado consideran, que el EDTA y el ácido acético proporcionan información adicional sobre el efecto de complejación o de acidificación ocurrido en la extracción del metal pesado. Dichos autores opinan, que los valores mas altos obtenidos en la extracción de Cu y Pb cuando se utiliza EDTA, se debe a que esos dos elementos son mas fácilmente movibles de sus posiciones, cuando se utiliza un complejante que cuando se utiliza un ácido, debido a la estabilidad de los complejos que forman con el EDTA. Por tanto la determinación de la disponibilidad de Pb utilizando EDTA da lugar a una sobreestimación.

Por otra parte, afirman que la utilización de ácido acético 0,43M da idea de la fracción disponible de metal en el suelo cuando se realizan estudios sobre movilidad y biodisponibilidad de metales en suelos presumiblemente contaminados. Además la concentración utilizada 0,43M es la mas apropiada para la todo el rango de pH de los suelos.

En este sentido la adopción en nuestro estudio de Ácido acético 0,5M como reactivo extractante para la determinación del contenido biodisponible de Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Co en suelos, resulta adecuado ya que permitirá comparar resultados de otros estudios de características similares.

Por último comentar, que Tipping et al., (2003), en un estudio llevado a cabo para determinar la distribución de Cu, Zn, Cd, y Pb en suelos de Inglaterra y Gales han encontrado que los contenidos de metal medidos en extractos obtenidos con HNO_3 0,43M son similares a los valores obtenidos en extractos con EDTA 0,1M. En la actualidad, algunos extractantes de los comentados hasta ahora, no se utilizan únicamente como reactivos en la extracción simple, sino que se están utilizando también en procesos de descontaminación de suelos. Este es caso del estudio realizado por Xueyi e Inoue (2003), en el que se analiza la aplicabilidad de dos extractantes: EDTA y ASDA, con el fin de eliminar metales presentes en suelos contaminados encontrando que el ASDA es el mejor sustituto del EDTA, utilizado con mas frecuencia porque posee similar capacidad de complejación y superior biodegradabilidad.

1.4.3.- OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

Realizado el pretratamiento de la muestra a analizar, es necesario determinar el contenido de los metales pesados, para lo cual se seleccionará la técnica analítica más adecuada a cada tipo de elemento y al intervalo de concentración existente.

Históricamente las técnicas mas empleadas en la determinación de los metales pesados en muestras medioambientales, son la Espectroscopía de Absorción Atómica

de llama y Horno de grafito (FAAS), Espectroscopía de Emisión de Plasma (ICP) y las técnicas Polarográficas, en concreto las técnicas Voltamperométricas de Redisolución tanto anódica como catódica y de las cuales se encuentran numerosas referencias bibliográficas respecto a su utilización.

La utilización de técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas al reconocimiento del origen e identificación de las pautas químicas se ha convertido en una herramienta cada vez más importante para caracterizar aire, agua, suelo, sedimentos y suelos contaminados por compuestos químicos complejos (Wenning y Erickson, 1994, Massart et al., 1998).

De entre estas técnicas destacan las técnicas multivariantes principalmente el Análisis por Componentes Principales (ACP), el Análisis Discriminante y el Análisis Cluster (AC).

El ACP y los métodos derivados se han usado ampliamente en aplicaciones geoquímicas para la identificación de las causas de contaminación y la diferenciación entre el aporte natural frente a la contribución antrópica.

1.5.- VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE UN SUELO. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES FONDO Y NIVELES DE REFERENCIA.

Al abordar un estudio de caracterización de contaminación de suelos potencialmente contaminados por altos contenidos en metales pesados, no es suficiente con determinar estos contenidos, sino que es necesario conocer y definir los máximos niveles admisibles por estos suelos. Estos niveles están directamente relacionados con la respuesta del suelo ante el metal, respuesta que a su vez depende de características como la vulnerabilidad o grado de sensibilidad de un suelo, el poder de amortiguación, la movilidad, la biodisponibilidad, la persistencia y la carga crítica, factores que pueden modificar los "umbrales" generales de toxicidad para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas.

La concentración en la fase disponible o asimilable es una medida directa de la peligrosidad real en el momento de realizar la determinación, mientras que la concentración total es una medida de la peligrosidad potencial de un suelo ante futuros cambios en las condiciones del mismo. Sin embargo, de cara al establecimiento de la calidad de un suelo, no es suficiente conocer el contenido total o disponible de los metales pesados estudiados, ya que la toxicidad debida a estos metales y elementos asociados es consecuencia directa de la concentración presente en las fases bioasimilables.

En los apartados anteriores se ha estudiado como afectan los diferentes componentes y propiedades del suelo en la movilización de los metales pesados, de donde se deduce que el establecimiento de la contaminación no puede realizarse de manera genérica para todos los suelos, sino que hay que tener siempre presente el tipo, la composición y el uso actual o potencial de los mismos.

Teniendo en cuenta que la presencia de metales pesados en un suelo puede tener un origen natural o bien antrópico y que, a concentraciones bajas, o en formas químicas inmóviles estos metales no presentan peligrosidad, es necesario distinguir entre los denominados niveles fondo (background) y los niveles de referencia o carga crítica de un suelo, con el fin de decidir si existe o no contaminación, en función del uso al que está destinado (Hellman, 2002).

Los niveles fondo de los metales pesados se definen como la concentración presente de un metal pesado en un suelo no sometido a contaminación externa. Puede considerarse como el contenido de origen natural.

Los niveles de referencia representan la máxima concentración de metal admisible sin que se produzcan efectos adversos sobre los organismos biorrelacionados con él, por lo que en la determinación de los niveles de referencia, deberán tenerse en cuenta aspectos como la biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, sus propiedades físico-químicas y los usos a los que este suelo se destine.

Según Kabata Pendias (1995), el establecimiento de niveles de referencia y estándares de calidad de elementos traza para la valoración de la contaminación del suelo, constituye el principal requisito de calidad y protección de las funciones agrícolas y ecológicas.

El establecimiento de estos niveles fondo y de referencia ha constituido el punto de partida en numerosos países para valorar la calidad de los suelos y elaborar inventarios de puntos contaminados.

En este sentido, en algunos países se ha evaluado la contaminación estableciendo cinco clases de suelos en función de los valores obtenidos:

1. Ligera
2. Moderada
3. Considerable
4. Muy contaminados
5. Extremadamente contaminados

En cada una de estas clases se diferencian tres grupos de suelos según su textura y pH. La clase 3, suelos considerablemente contaminados, presentará riesgo de contaminación para cosechas. La clase 4 corresponde a suelos que no deben usarse para la producción de plantas utilizadas en alimentación, sobre todo si se trata de suelos ácidos y de textura ligera. La clase 5 debería excluirse de cualquier uso agrícola y proceder, dentro de lo posible, a su limpieza.

En Holanda, se han llevado a cabo numerosos proyectos para evaluar la calidad de los suelos. Inicialmente se establecieron diferentes niveles de calidad. El nivel A se considera de referencia, representa el nivel por debajo del cual, es posible cualquier uso del suelo y por tanto supone nivel de riesgo desdeñable. Entre los niveles A y C la calidad del suelo está afectada, aunque este no pierde su multifuncionalidad. El valor C representa el nivel máximo permitido de forma que por encima de él, también denominado valor de intervención, se hace necesaria la limpieza de contaminantes.

Los valores de referencia propuestos para metales se establecen en función de la fracción arcilla y/o el contenido en materia orgánica del suelo. El cálculo se lleva a cabo mediante ecuaciones que correlacionan estos parámetros con el contenido fondo del metal, además establecen los valores absolutos para un suelo que denominan estándar y que contiene un 25% de arcilla y un 10% de materia orgánica (Vegter, 1995).

En Estados Unidos la evaluación del riesgo en los diferentes ecosistemas recae en la Agencia de Protección Medioambiental, US EPA (U. S. Environmental Protection Agency) quien ha elaborado un documento "Soil Screening Guidance" (US EPA, 1996) desarrollado para acelerar y facilitar la evaluación y limpieza de suelos. En él, se proporciona la metodología para la determinación del riesgo y los niveles de exploración para contaminantes en suelos, de forma que permita la identificación de áreas necesitadas de una investigación mas profunda. En esencia se basan de nuevo en la política de la determinación o valoración del riesgo, para lo cual emplean la determinación de niveles fondo junto con el estudio de la toxicidad en las personas y en el medioambiente en general. Además dentro del programa "Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act", CERCLA (USEPA 2002), han elaborado un documento donde se establece el papel de los niveles fondo y la importancia que su determinación y conocimiento tiene en la política de valoración del riesgo.

En España, destacan los estudios llevados a cabo por el IHOBE (IHOBE, 1994). Este instituto ha desarrollado una metodología para la investigación de la contaminación del suelo, que contempla dos fases: la investigación exploratoria y la investigación detallada

Investigación Exploratoria, es la fase de investigación cuyo objetivo es confirmar, por un lado, la existencia de niveles de contaminación que supongan o puedan suponer un riesgo inaceptable para la salud humana y los ecosistemas y, por otro, la hipótesis de distribución espacial de la contaminación. Los datos obtenidos en esta fase deben permitir el diseño óptimo de la fase de Investigación Detallada.

Investigación Detallada, es la fase de investigación cuyo objeto reside en recabar toda la información (caracterización espacial, horizontal y vertical, y temporal de la contaminación, receptores potenciales, etc.) que sea necesaria para acometer la evaluación de los riesgos presentes y futuros derivados de la contaminación detectada. La evaluación de riesgos es un elemento esencial de la Investigación Detallada de cara a tomar decisiones sobre posteriores medidas a implantar en el emplazamiento y se define el riesgo en función de la probabilidad de que un suceso adverso ocurra como resultado de la exposición a la contaminación del suelo, y de la magnitud de las consecuencias o impacto de dicho suceso sobre los objetos de protección (salud humana, ecosistemas, otros compartimentos ambientales, explotaciones agrícolas y forestales, infraestructuras, etc.).

El valor de referencia se puede obtener mediante dos métodos: 1) Estableciendo las correlaciones entre arcilla y/o materia orgánica del suelo estándar (no contaminado) y los contenidos en metales. 2) Sumando a la media de valores o nivel de fondo, dos veces la desviación típica (S):

$$VR = x \text{ (valor medio)} + 2S$$

Este criterio se adopta cuando no hay correlación o esta no es significativa.

Navas y Machín (2002b), han realizado un estudio sobre la distribución de metales pesados en suelos, con el fin de conocer los contenidos presentes de forma natural en los suelos de la región, establecer los niveles de referencia y su relación con distintos parámetros edafológicos, encontrando que la principal fuente de variación es la litología de los suelos muestreados.

Puede concluirse que existe una gran diversidad de niveles o valores guía utilizados para caracterizar la calidad de un suelo potencialmente sometido a contaminación por metales pesados, pero en todos los casos se reconoce la necesidad de evaluar no solo el contenido natural de los suelos, sino también resulta necesario establecer la

concentración límite de exposición razonable, es decir, llevar a cabo una valoración del riesgo, valoración que dependerá del tipo y características del suelo y del uso al que se destine.

En todos los estudios analizados correspondientes a los distintos países, se pone de manifiesto que para el establecimiento de los niveles de referencia es necesaria la determinación de los niveles fondo de los suelos. En principio esta determinación puede realizarse mediante ecuaciones que relacionan la concentración con el contenido en materia orgánica o en arcillas, o determinando el contenido medio de las muestras analizadas, o relacionándolo con el contenido procedente del material parental determinado en horizontes más profundos.

Algunos autores consideran que dado que existe una doble contribución, natural y antrópica, a los valores obtenidos para el nivel fondo de metales pesados y que resulta difícil determinar la proporción exacta de cada contribución, la utilización de nivel fondo tiende a ser más útil como concepto teórico que práctico (Gough et al., 1994; Chen et al., 1999).

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN EDÁFICA Y PRODUCTIVA DE LAS ÁREAS DE LA EMPRESA TABACALERA DE SAN JUAN Y MARTÍNEZ, PINAR DEL RÍO: PROPUESTA DE MANEJO POR MEDIO DE UN SIG.

INTRODUCCIÓN

El Ordenamiento Territorial, instrumento esencial de la organización espacial y base para alcanzar el desarrollo sostenible de un territorio, se apoya en la actualidad en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis y la toma de decisiones de carácter espacial que contribuyan a una adecuada Planificación y Gestión Ambiental del territorio.

Paralelamente con el decrecimiento en los instrumentos de la planificación, el nuevo milenio ha visto llegar un agravamiento de los problemas socioeconómicos de gran parte de la humanidad, así como la incapacidad de los gobiernos para resolverlos, lo que ha condicionado el incremento del interés en lograr la sostenibilidad del desarrollo económico y social a mediano y largo plazos, basada en el establecimiento de una planificación mas participativa y centrada en la localidad (Friedmann, 1991).

Los intentos de importar modelos y teorías provenientes de los países desarrollados a la realidad latinoamericana no han dado los resultados esperados, lo que hace pensar en que no puede haber un modelo único de planificación y ordenación del territorio aplicable a distintas realidades sino que cada región y país debe construir su propia metodología de planificación y ordenamiento ajustada a su realidad natural, económica y social (Gastó et al., 2002 y Gudiño, 2003).

Esto ha conllevado al surgimiento de un nuevo tipo de planificación, llamada ecológica, ambiental o estratégica y que puede ser concebida como: "El instrumento dirigido a planear y programar el uso del territorio, las actividades productivas, la ordenación de los asentamientos humanos y el desarrollo de la sociedad, en congruencia con el potencial natural de la tierra, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

y humanos y la protección y calidad del medio ambiente". Esta idea se cimienta en la posibilidad de pensar y crear el futuro a partir del conocimiento y valoración del presente y de su articulación al pasado y debe entenderse, entonces, como un instrumento de gestión pública para controlar, promover y dirigir los sistemas sociales contemporáneos, articulados en su base de sustentación geoecológica (Salinas, 1991; Lavanderos et al., 1994; Gabiña, 1998; Méndez, 1999 y Dourojeanni, 2000).

El ordenamiento ecológico o territorial, visto como el fundamento de la planificación, es un hecho cultural y político íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada sociedad y se señalan sus orígenes en Francia a fines de la Segunda Guerra Mundial, donde fue propuesto como una alternativa para solucionar los problemas relacionados con la distribución y utilización de la tierra, siendo en Europa y Norteamérica donde alcanza un importante desarrollo esta concepción, especialmente en la última década del siglo XX y principios del XXI (Caballero, 1997 a y b; Hildenbrand, 1996); también en los llamados países de economía centralizada de Europa Oriental, se realizaron importantes aportes a la concepción del ordenamiento territorial como hoy lo conocemos y, desde hace algunos años en América Latina el empleo de nuevos enfoques en esta temática ha enriquecido la teoría y la práctica de esta disciplina (Almeida et al., 1993; Mateo, et al., 1985; Massiris, 2001 y Gastó et al., 2002).

Tres ideas centrales guían esta ordenación del territorio:

1. Proporcionar las oportunidades mínimas que garanticen una adecuada calidad de vida para toda la población.
2. Conservar y desarrollar los fundamentos naturales de la vida (bio y geodiversidad, procesos ecológicos esenciales, etc.).
3. Mantener a largo plazo el potencial de utilización del suelo y los recursos que contiene.

Muchas definiciones se han propuesto en todos estos años, sin embargo, hay tres que se complementan:

El ordenamiento ecológico o ambiental visto como "El instrumento de política ambiental, que permite articular, regular e inducir el uso del suelo y las actividades productivas con el fin de lograr la protección del medio ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y humanos, a partir del análisis de las tendencias del deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos, con el fin de alcanzar la máxima armonía posible en las interrelaciones de la sociedad con el ámbito donde esta se desarrolla" (INE-SEMARNAP, 1996; Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997; Gastó et al., 1998 y Schlotfeldt, 1998).

El ordenamiento territorial como "una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como actuación interdisciplinaria y global cuyo objetivo central es el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector" (Consejo de Europa, 1983; Barragán, 1994 y 2003; Pujadas y Font, 1997, Instituto de Planificación Física, 1999 y Gómez Orea, 2002).

El ordenamiento del territorio como "El nivel más amplio y abarcador de la planificación ambiental, dirigido a determinar un modelo territorial constituido por tipos funcionales de uso para cada parte del territorio, sus entidades de operación y gestión y los instrumentos administrativos, jurídicos y sociales que aseguren su aplicación, buscando garantizar el buen uso del territorio y la sostenibilidad del ambiente en armonía con el desarrollo de la población, los servicios e infraestructura y el funcionamiento eficaz del gobierno" (Salinas, 1991, 1994 y 2001; Lavanderos et al., 1994; Méndez, 1999; Gobierno de Navarra, 2002; Gómez Orea, 2002 y Navarro, 2003).

La ordenación del territorio tiene tres dimensiones principales: la ecológico-ambiental, preocupada por las relaciones entre la sociedad y su medio ambiente; la atinente al sistema espacial, interactivo a su vez con el ambiental y orientado a evaluar las interacciones entre los asentamientos, las ciudades y las regiones en donde las redes desempeñan un rol determinante y el sistema político, relacionado con la administración y gestión del territorio (Mantobani, 1997).

Es necesario apuntar que la ordenación del territorio es un proceso público y técnico del planeamiento y por lo tanto, debe ser flexible, continuo y a largo plazo; siendo además holístico y sistémico ya que no sólo es ambiental sino social, económico, político y administrativo, debiendo traducirse en una zonificación de las capacidades potenciales del territorio (oferta u objeto de la planificación) para acoger a determinada actividad socioeconómica (demanda o sujeto de la planificación) y que permita solucionar algunos problemas y conflictos presentes en el territorio.

El ordenamiento territorial es una forma de intervención social del Estado encargada de regular los distintos requerimientos de las empresas (acumulación del capital), la sociedad (reproducción de la vida cotidiana, reducción de desigualdades sociales y protección ambiental) y el gobierno (legitimación política) mediante la organización, administración y gestión racional y técnico-científica a nivel urbano y regional de aquellas condiciones generales que sostienen un proceso de desarrollo sustentable y de aquellos medios provistos por el Estado para elevar o mantener los niveles de equidad y de eficiencia de la sociedad" (Mantobani, 1997). Aunque esta definición se aparta un poco de las anteriormente discutidas y puede considerarse la síntesis de estas, se enfoca mas a la dimensión social y política del ordenamiento y deja de un lado otros elementos de suma importancia para alcanzar el desarrollo sostenible como lo entendemos nosotros. Implementar una política de ordenación territorial significa introducir la dimensión territorial en las acciones de gobierno, con una visión global e integradora de los múltiples procesos que se desarrollan en el espacio nacional (Boisier, 1996).

Hasta el momento en la mayoría de los países la planificación y ordenación del territorio han sido vistos y estudiados usando límites políticos, cuencas hidrológicas o algunas otras unidades, lo que ha demostrado un desconocimiento del desarrollo teórico metodológico y práctico alcanzado por la geoecología o ecología del paisaje rama de las ciencias físico-geográficas que proporciona una base sólida para el análisis holístico y sistémico del territorio, permitiendo clasificar y delimitar unidades homogéneas por sus características, que pueden ser estudiadas, evaluadas y gestionadas en el propio

proceso de planificación del espacio (Naveh y Liebermann, 1984; González-Bernaldez, 1981; Forman y Godron, 1986; Rougerie, Beroutchachvili, 1991; Mateo, 1991; Zonneveld, 1995; Bolos et al., 1992; Bailey, 1996; Farina, 1998; Zoido y Venegas, 2002; Burel y Baudry, 2002 y Salinas, 1991, 1994 y 2001).

En los últimos años se han empleado en los trabajos de ordenamiento los SIG como base para el análisis y salida cartográfica de investigaciones, por el gran volumen de información que manejan y relacionan en estos estudios.

El empleo de los SIG en la ordenación del territorio comienza con la propia selección de la plataforma a utilizar, la escala o escalas de trabajo y la delimitación del área de estudio, lo que permite confeccionar una base cartográfica única con los atributos básicos necesarios para volcar en ellos la información analógica o digital existente en anuarios, mapas temáticos, etc., así como la generación de nuevos productos cartográficos por la superposición y análisis de los ya existentes u obtenidos mediante el empleo del SIG.

Los sistemas de información geográfica SIG, son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental. La zonificación agroecológica es una de las primeras etapas del ordenamiento y del planeamiento ambiental. Hoy es casi imposible imaginar un plano de gestión ambiental, de adecuación de las técnicas agrícolas o de monitoreo ambiental, en cualquier escala, sin la utilización de la zonificación agroecológica (De Miranda, 1996).

Hoy los SIG permiten profundizar el análisis integrado de la dinámica espacio temporal del uso de las tierras y de las medidas de sostenibilidad agrícola que se pueden deducir. Los usos pueden ser confrontados cartográficamente, y de forma digital, con la capacidad de producción de los recursos naturales involucrados. Esos procesos estructurados en SIG permiten un balance cartográfico y numérico entre la explotación y la reposición de la fertilidad, por ejemplo.

Escenarios sobre los cambios en el uso de las tierras y sobre sus consecuencias en la sostenibilidad agrícola regionales producidos por cambios en las políticas de precio, de crédito o de comercialización, también están siendo objeto de nuevos métodos de simulación con base en el uso de los SIG.

Hasta el desarrollo reciente de los sistemas computadorizados, la integración de datos numéricos y cartográficos era muy limitada, tanto desde el punto de vista operacional, como de los resultados. El investigador o responsable de desarrollo, confrontado a exigencias de esta naturaleza, era obligado a utilizar procedimientos de integración muy rudimentarios como la sobre posición de mapas, el uso de transparencias u *overlays*, el dibujo manual de isolíneas de productividad de factores, construcción de tablas cruzadas entre factores, la cuantificación de áreas con planímetros etc. El surgimiento de los sistemas de informaciones geográficas, ha cambiado completamente esa realidad. No solamente por facilitar tareas manuales, antes complejas y lentas en su ejecución, más sobre todo, al abrir posibilidades de integración entre datos espaciales y numéricos impensables en el pasado.

Los SIG son bancos de datos para informaciones codificadas espacialmente. Independientemente de los variados logicales o *softwares* de SIG disponibles en el mercado, sus principales componentes son siempre y básicamente los siguientes:

- Un subsistema de entrada de datos (mapas, datos numéricos etc.);
- Un subsistema de almacenamiento y recuperación de datos espaciales en una forma que posibilite un acceso eficiente a los mismos;
- Un subsistema de manipulación, para analizar y generar datos derivados;
- Un subsistema de presentación de datos, tanto en la forma tabular como gráfica.

Un SIG incorpora datos con diversas características y diversos tipos de representación. Se acostumbra diferenciar por lo menos dos tipos de representación: la vectorial (como los mapas, por ejemplo), y la matricial o raster (como las imágenes, por ejemplo).

La existencia de múltiples formas de representación aumenta el potencial de utilización del sistema, debido a varias causas: datos provenientes de fuentes distintas tienen, en general, formas diferentes y no siempre la conversión de la representación tiene sentido; variados métodos de manipulación pueden requerir representaciones diferentes. Por ejemplo, un algoritmo de clasificación puede ser aplicable solamente a imágenes, mientras que algoritmos para la generación de isolíneas casi siempre requieren estructuras propias.

Ese potencial es particularmente importante para compatibilizar y unificar datos en países donde la información sobre los recursos naturales y la agricultura se encuentran dispersas entre varias instituciones, en escalas distintas y obtenidas según metodologías muy variables.

El modelo de datos del SIG tiene por objetivos definir las ideas generales de la organización del sistema y las categorías básicas de datos, a través de los cuales pueden ser representados los diferentes tipos de "datos espaciales" en el SIG. Por "datos espaciales" se entienden aquellos que caracterizan la geometría de algún fenómeno geográfico. El modelo de datos también debe permitir la inclusión de datos no espaciales en el sistema, a través del modelo relacional. Los datos no espaciales permiten describir características de naturaleza general, no geométrica, de un dato espacial.

El trabajo del usuario del SIG es siempre organizado en proyectos. Cada proyecto puede corresponder a una determinada región geográfica: un municipio, una cuenca o una provincia. Este proyecto podrá contener datos con características intrínsecas muy diferentes como, por ejemplo, descripción del uso del suelo, modelos digitales de terreno, imágenes de satélites, etc.

Un proyecto es formado por planos de información (PI). Un PI reúne todas las informaciones que se refieren a un cierto aspecto del modelo de una región. Por ejemplo, un proyecto que reúna informaciones sobre altimetría, pedología, climatología,

uso del suelo, productividad y erosión. En este caso, cada una de esas características será organizada dentro de un PI independiente.

Cada PI almacena informaciones de una única categoría (conjunto de datos espaciales que son representados y tratados por el sistema de la misma manera). Sin embargo, la misma información (por ejemplo, la altimetría), puede ser representada de varias formas (por ejemplo, curvas de nivel, puntos acotados o retículas), y un PI puede incorporar datos en más de un formato de representación (matricial, poligonal, muestras 3 D, retículas, isolíneas, puntos).

Dentro de un PI, el usuario puede definir objetos, a los cuales pueden ser asociados atributos relacionados (datos no espaciales, gerenciados por un banco de datos relacional), y una clase, que es un atributo cuyo valor puede ser oriundo de un método de clasificación propio para la aplicación. Ejemplos de objetos pueden ser municipios o provincias en un mapa de división política, ríos y lagos en un mapa hidrográfico o cruces de una red vial, clases de productividad en un mapa de uso de las tierras etc.

El uso de un SIG, independientemente de la complejidad de los distintos logicales o *softwares* existentes, lleva al ejercicio de seis grupos de funciones principales:

- *Definición*: selección de los datos a ser manipulados;
- *Entrada*: inserción de nuevos datos en el sistema. Este grupo incluye también funciones para la entrada de textos (básicamente nombres) y símbolos sobre un PI;
- *Conversión*: transformación de formato (raster <--> vector, retícula --> vector y retícula --> raster), y transformaciones geométricas (inclusive cambio de sistema de proyección);
- *Manipulación*: generación de nuevos PIs a partir de operaciones de combinaciones entre uno o más PIs. Entre las principales opciones de manipulaciones están: declive, reclasificación y sobreposición;
- *Consulta*: manipulación de atributos no gráficos (relacionales);

- *Salida*: generación de documentos cartográficos y funciones de visualización.

Un documento cartográfico visualizado en la pantalla de la computadora u obtenido en un mapa impreso, es siempre el resultado de una combinación de PIs y leyendas, para lo cual fue generada una salida gráfica, en un formato definido por el usuario.

El SIG incorpora diversas funciones de visualización, incluyendo recursos tridimensionales. La integración manual de mapas en el pasado se limitaba esencialmente a las sobreposiciones de transparencias. El último análisis se trataba de una operación aritmética de suma y resta. Hoy, a partir de la organización de los datos en un proyecto de SIG, dos o más mapas pueden ser relacionados a través de las más distintas funciones lógicas y matemáticas. Varios mapas pueden ser integrados a través de complejas ecuaciones. Los resultados son rápidos, precisos y exhaustivos. Cambios de intervalos de clases, por ejemplo, pueden ser obtenidos de forma simple e inmediata. Los cálculos de áreas, perímetros, intersecciones entre distintas unidades geográficas pueden ser realizados y detectados con precisión.

El hecho de que varios *softwares* de SIG pueden operar en plataformas de tipo PC, ha ampliado mucho el número de los usuarios. La creciente compatibilidad entre los archivos generados a partir de diferentes SIG también ayuda a ampliar la adopción y la utilización de esos sistemas. La existencia de un número creciente de *softwares* de SIG en el mercado, muchos de dominio público, colabora con la difusión de esta herramienta tecnológica.

Por las razones anteriormente expuestas, los SIG están siendo cada vez más utilizados en Cuba, constituyen un instrumento decisivo e indispensable como soporte para los trabajos de zonificación agrícola, catastro rural, planeamiento regional, diseño de proyectos y otras tareas. En este caso, se implementa un SIG en una empresa de producción tabacalera, con vistas a mejorar eficiencia en todos los aspectos relacionados con la producción con calidad de la hoja de tabaco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área seleccionada para el estudio pertenece a la Empresa de Tabaco del Municipio de San Juan y Martínez de la Provincia de Pinar del Río. En este trabajo se ofrecen los detalles de la Zona No. 2, que comprende las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) Tomás León, Tomás Valdés y Francisco Blanco, enclavadas en las cercanías de San Juan y Martínez, sobre todo hacia la parte norte y este extendiéndose algo hacia el sur; con un área total de 901,51 hectáreas, de las cuáles 437,64 están dedicadas al tabaco; 325,11 dedicadas al autoconsumo, 102,58 de monte o manigua y en otros usos 36,18 hectáreas.

Para el desarrollo del trabajo, se emplearon bases cartográficas a escala 1:10,000 y hojas catastrales con los límites de las parcelas. Los suelos y sus factores limitantes se delimitaron a través de los puntos auxiliares con barrenas.

Para la determinación de los rendimientos posibles a alcanzar, además de las propiedades de suelos, se emplearon los rendimientos históricos de las parcelas estudiadas.

Para este trabajo ha sido empleada la Segunda Clasificación Genética de los suelos de Cuba, de la cual se ofrece una información detallada hasta el nivel más inferior, es decir, hasta la variedad, descrita en forma de simbología en las tablas anexas y se ofrece una correlación de los tipos existentes con la clasificación Norteamericana Soil taxonomy al nivel de órdenes.

Se estudiaron 241 parcelas, obteniéndose una información importante de cada una de ellas. Para poder almacenar, procesar y utilizar en la toma de decisiones esta abundante información, fue necesario el empleo de un Sistema de Información Geográfico (SIG) como una herramienta imprescindible en el estudio de las áreas comprendidas en la investigación.

El SIG empleado es MapInfo Profesional 6.5 (MapInfo 6.5 licenciado al Centro Nacional

de Áreas Protegidas CITMA), teniendo en cuenta la uniformidad de la información a brindar en el proyecto. Las imágenes se digitalizaron utilizando un Scan Jet 3300c. Toda esta información es imposible de procesar y dar salida al producto final sin el uso de un ordenador.

Para la realización del trabajo se contó con planos a escala 1:10 000 de las tres CCS, en las que aparecen las diferentes áreas dedicadas al cultivo de tabaco de sol y otras producciones alternas, la distribución de las redes viales de comunicación terrestre, los poblados, los ríos, arroyos y embalses, y otros elementos importantes, facilitados por el Ministerio de la Agricultura Provincial. Con la ayuda de las hojas cartográficas se georreferencian los diferentes planos del área, para el rastreo y obtención de las imágenes en formato JPEG se utilizó un escáner modelo Scan Jet. Posteriormente las imágenes fueron georreferenciadas en MapInfo ver. 6,5.

Con la digitalización de las imágenes raster de los planos de las CCS se obtuvo un mapa general, que contienen toda la información obtenida en el estudio, a partir de asociar una base de datos con el mapa confeccionado. Esta tabla presenta una serie de campos o atributos, 29 en total, necesarios para obtener información de la región deseada. Los mapas temáticos se realizan de acuerdo a los atributos que se quieran mostrar en cada uno de ellos. Es posible obtener tantos mapas temáticos como atributos tenga la base de datos asociada, o cualquier combinación que se quiera establecer entre ellos.

Los atributos que presenta la tabla asociada son muy variados y están en dependencia de la información introducida a dicha capa. Los campos obtenidos en cada tabla se pueden cambiar (actualizar) desde el mismo SIG, de forma fácil y dinámica.

Metodología utilizada para la caracterización química del suelo.

Los análisis químicos y físico-químicos del suelo, fueron realizados en el Laboratorio de

suelos del MINAGRI y en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Pinar del Río. Las técnicas utilizadas fueron:

pH: Potenciometría.

Materia orgánica (MO): Incineración.

Humedad higroscópica (Hy): (Gravimetría)

Ca^{2+} y Mg^{2+} : Complexometría.

K^+ y Na^+ : Fotometría de llama.

P_2O_5 : Colorimetría.

Conductimetría: Conductímetro.

Nitrógeno: Destilación con Kjeldahl

Todos estos análisis se realizaron aplicando las metodologías establecidas por MINAGRI (1994) y Ansorena (1994).

Descripción de algunas variables que se utilizan en el trabajo:

Valor S: Suma cationes de cambio (cmol/kg de suelo). Suma de las concentraciones de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+

Valor T: Capacidad cambio catiónico (cmol/kg de suelo). Se determina por valoración

Valor V: Porcentaje de saturación de bases (%). Es el resultado de dividir S sobre T

Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico SPSS para Windows Versión 10 de diciembre 2001 (SPSS 10.0). Se ha utilizado el Análisis de Componentes Principales con el objeto de estudiar las relaciones entre los metales y los parámetros edáficos, confirmando o no por caminos diferentes los resultados encontrados en el estudio de las correlaciones. En el Análisis de Componentes Principales el objetivo final es reducir la dimensionalidad de la tabla de datos concentrando la información en el menor número de variables o factores que se obtienen como combinación lineal de las variables iniciales y se retienen aquellas que explican una mayor varianza.

Se ha utilizado la correlación de Pearson y Spearman, teniendo en cuenta las correlaciones significativas (con significación superior al 95%). Se han correlacionado los contenidos de metales pesados entre sí y con los parámetros edáficos para todos los suelos estudiados.

Se realizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y la comparación utilizando el método de Student-Newman-Keuls (SNK) para todas las variables que no cumplieron con una distribución normal. También se realizaron pruebas de comparación por Duncan.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO.

Diseño y elaboración del SIG.

La presente investigación se realizó en el período comprendido entre Septiembre del año 2002 y Mayo del 2004. Se fundamenta en el diseño y ejecución de un Sistema de Información Geográfica, el cual facilitará la planificación estratégica y la toma de decisiones del desarrollo agrícola sobre bases científicas, aplicando modelos de investigación centrados en las demandas, problemas y desafíos del entorno. El mismo se sustenta en un sistema de rápido y multivariado acceso de la información contenida en las bases de datos que se pueden visualizar, analizar y dinamizar con la aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG) a partir de las identificaciones de los diferentes ecosistemas estratégicos que conforman las tres CCS estudiadas, en las que el área de estudio se concentra específicamente en los campos dedicados al cultivo del tabaco.

Se obtuvieron los mapas a escala 1:10 000 para las tres cooperativas estudiadas. Estos mapas fueron convertidos a imágenes ".JPG" utilizando un Scan Jet 3300c. Posteriormente, las imágenes fueron georeferenciadas (Figura 2.1) utilizando el sistema de georeferenciación Cuba Norte dentro del propio sistema MapInfo Profesional 6.5. Finalmente se procedió a la digitalización de las imágenes para la obtención de las diferentes capas, con los datos asociados a las mismas.

Teniendo en cuenta que se trata de una región predominantemente llana, solo en algunos casos con pocas ondulaciones del terreno, no se utilizaron los mapas con curvas de nivel, pero queda abierta la posibilidad para en el futuro obtener en esta misma zona mapas tridimensionales.

Las coordenadas de algunos puntos de la zona de estudio fueron rectificadas utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) portátil.

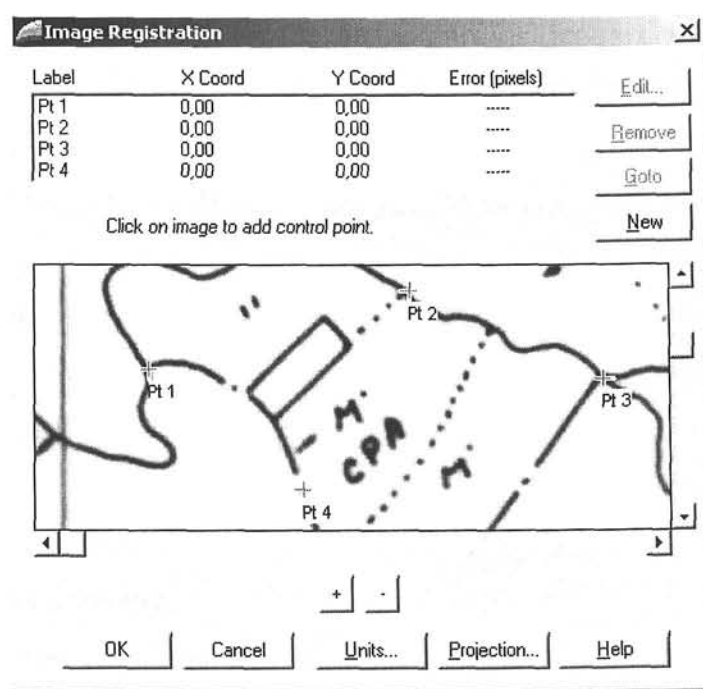


Figura 2.1.- Georeferenciación de las imágenes

Una vez concluido el procedimiento de digitalización de cada cooperativa, es posible obtener una información con una alta precisión en relación con las áreas de cultivo, el perímetro, la longitud de canales y arroyos y otros datos de gran interés para la Empresa (Figura 2.2).

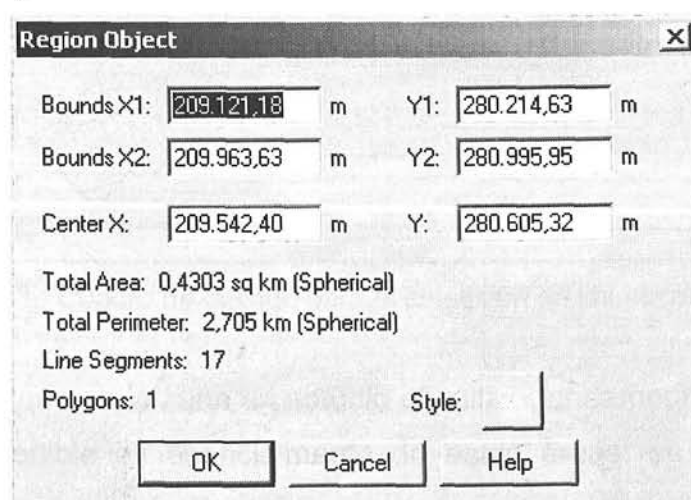


Figura 2.2.- Información de los polígonos digitalizados

El sistema elaborado cuenta con una estructura de capas y subcapas, las que se relacionan a continuación (Figura 2.3):

- Campos de tabaco. En esta capa se ubican las áreas destinadas al cultivo de tabaco. Esta capa se subdivide en tres subcapas, una para cada cooperativa.
- Otros campos. En esta capa están ubicados otros campos dentro de la cooperativa pero que no se siembran de tabaco. Se subdivide en dos subcapas.
- Otras áreas. Otras áreas que no pertenecen a las cooperativas. Se subdivide en dos subcapas.
- Embalses y ríos. Se confeccionaron tres subcapas, una para cada cooperativa.
- Carreteras. Se muestran carreteras, caminos y línea del ferrocarril. Dos subcapas.
- Poblados. Dos subcapas
- Vaquería. Una subcapa.
- Escala. Subcapa con datos de información general.

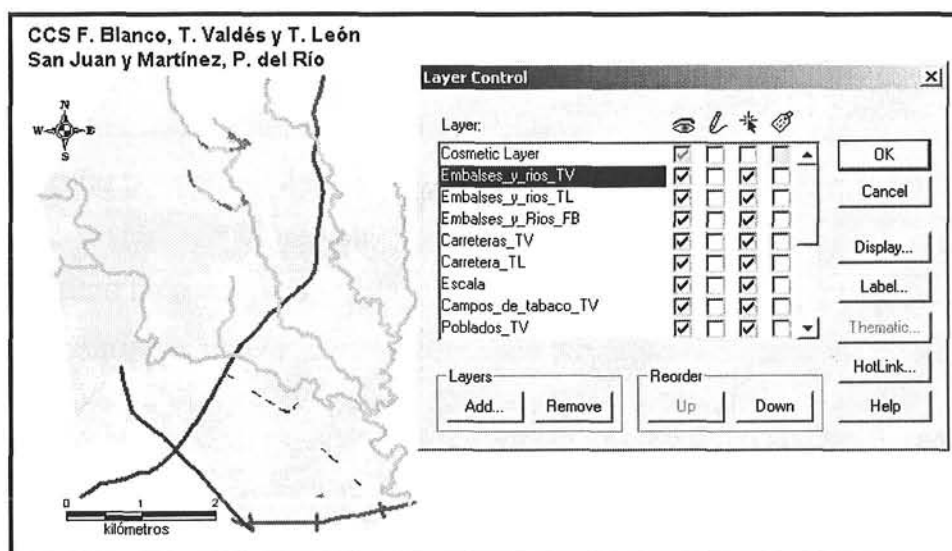


Figura 2.3.- Cuadro de diálogo para la selección de las capas a editar.

Teniendo en cuenta que en la zona en estudio el cultivo fundamental es el tabaco y que la información disponible es esencialmente de estas áreas, se confeccionaron tres bases de datos, una para cada CCS, en las que se describen en detalles las características de cada campo o parcela cultivada. Estas bases de datos contienen hasta 33 campos, los que pueden ser disminuidos o incrementados en función de los requerimientos de la Empresa.

A continuación se relacionan los campos asignados a cada parcela:

- 1.- Cooperativa (Nombre de la cooperativa o CCS)
- 2.- Número de la parcela estudiada.
- 3.- Propietario o dueño
- 4.- Área total.
- 5.- Área destinada al cultivo de tabaco.
- 6.- Acidez del suelo (pH).
- 7.- Contenido de Calcio (cmol/kg de suelo).
- 8.- Contenido de Magnesio (cmol/kg de suelo).
- 9.- Contenido de Potasio (cmol/kg de suelo).
- 10.- Contenido de Sodio (cmol/kg de suelo).
- 11.- Suma cationes de cambio (Valor S).
- 12.- Capacidad cambio catiónico (Valor T).
- 13.- Porcentaje de saturación de bases (Valor V).
- 14.- Contenido de fósforo total en forma de P_2O_5 .
- 15.- Contenido de potasio total en forma de K_2O .
- 16.- Contenido de Materia Orgánica.
- 17.- Hy (Humedad higroscópica).
- 18.- Categoría Agroproductiva.
- 19.- Tipo de suelo.
- 20.- Sub-tipo de suelo.
- 21.- Material basal en la formación del suelo.
- 22.- Saturación.
- 23.- Profundidad.
- 24.- Humificación.
- 25.- Erosión.
- 26.- Textura.
- 27.- Contenido de gravas.
- 28.- Profundidad efectiva.
- 29.- Pendiente.

- 30.- Rendimiento.
- 31.- Producción.
- 32.- Rendimientos Mínimos Potenciales (RMP).
- 33.- Producción según RMP.

A partir del siguiente cuadro de diálogo se puede acceder a la base de datos de la CCS requerida (Figura 2.4)

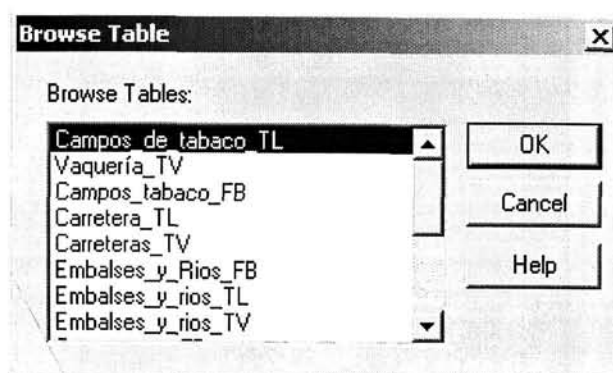


Figura 2.4.- Cuadro de diálogo para seleccionar la base de datos a utilizar

Este cuadro de diálogo resulta de gran utilidad, sobre todo cuando se desean hacer modificaciones en la estructura de la base de datos que se está analizando, ya sea actualizar un campo, suprimirlo o adicionar uno nuevo.

En la siguiente figura (Figura 2.5) se muestra como aparece la información de cada parcela al hacer "clic" en el polígono que la representa. De una forma rápida y segura se puede acceder a toda la información disponible para esta área.

En las Tablas (Anexo 01 Base de datos de MapInfo para las cooperativas estudiadas), se muestran las bases de datos utilizadas para el empleo del SIG. En todos los casos se trata de muestras de suelos.

Resulta evidente que la información obtenida es de gran importancia para la organización, la planificación, el desarrollo y el control de la producción tabacalera en esta zona. Se destaca la facilidad para ubicar aquellas zonas donde existen los

mayores factores de riesgo de contaminación, atendiendo a las características de los suelos y su entorno.

Info Tool	
Parcela:	25
Propietario:	José M. Rguez
A_Total:	52,3
A_Tabaco:	1,4
pH:	4,4
Ca:	26,4
Mg:	6,27
K:	0,4
Na:	0,04
Valor_S:	3,16
Valor_T:	6,08
Valor_V:	51,97
P2O5:	26,4
K2O:	21
Mat_Org:	1,22
Humedad_higrosc:	2,6
Cat_Agroprod:	II

<< >> List Campos_tabaco_FB

Figura 2.5.- Información de las parcelas

Como se aprecia de la figura anterior, al seleccionarla parcela de interés, es factible obtener de forma muy rápida toda la información disponible para la misma. Es posible almacenar toda la información de manera que se obtenga un historial de la parcela y de toda el área objeto de estudio.

Posibilidades y ejemplos en la explotación del SIG.

Las posibilidades del empleo de este Sistema de Información Geográfica son amplias. En la Figura 2.6 se muestra un mapa general del territorio en el que se ubican las tres cooperativas de créditos y servicios (Francisco Blanco, Tomás León y Tomás Valdés) en las que se desarrolló el estudio.

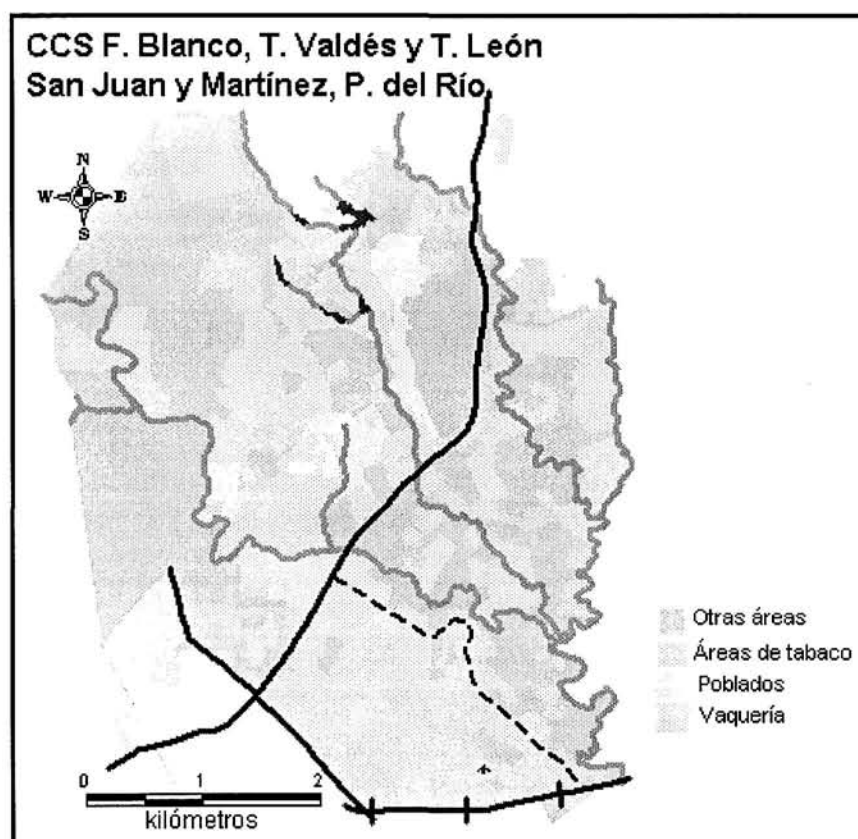


Figura 2.6.- Mapa general del territorio en el que se ubican las tres cooperativas

Entre estas posibilidades que brinda el Sistema de Información Geográfica (SIG), se encuentran las de obtener diferentes mapas temáticos, uno por cada uno de los campos introducidos en la base de datos.

A continuación se muestra un mapa (Figura 2.7) en el que solo aparecen los suelos de estas cooperativas, así como los embalses, ríos y arroyos, carreteras importantes, así como la línea del ferrocarril. Con respecto a las parcelas estudiadas, se puede observar la variación del pH en las mismas:

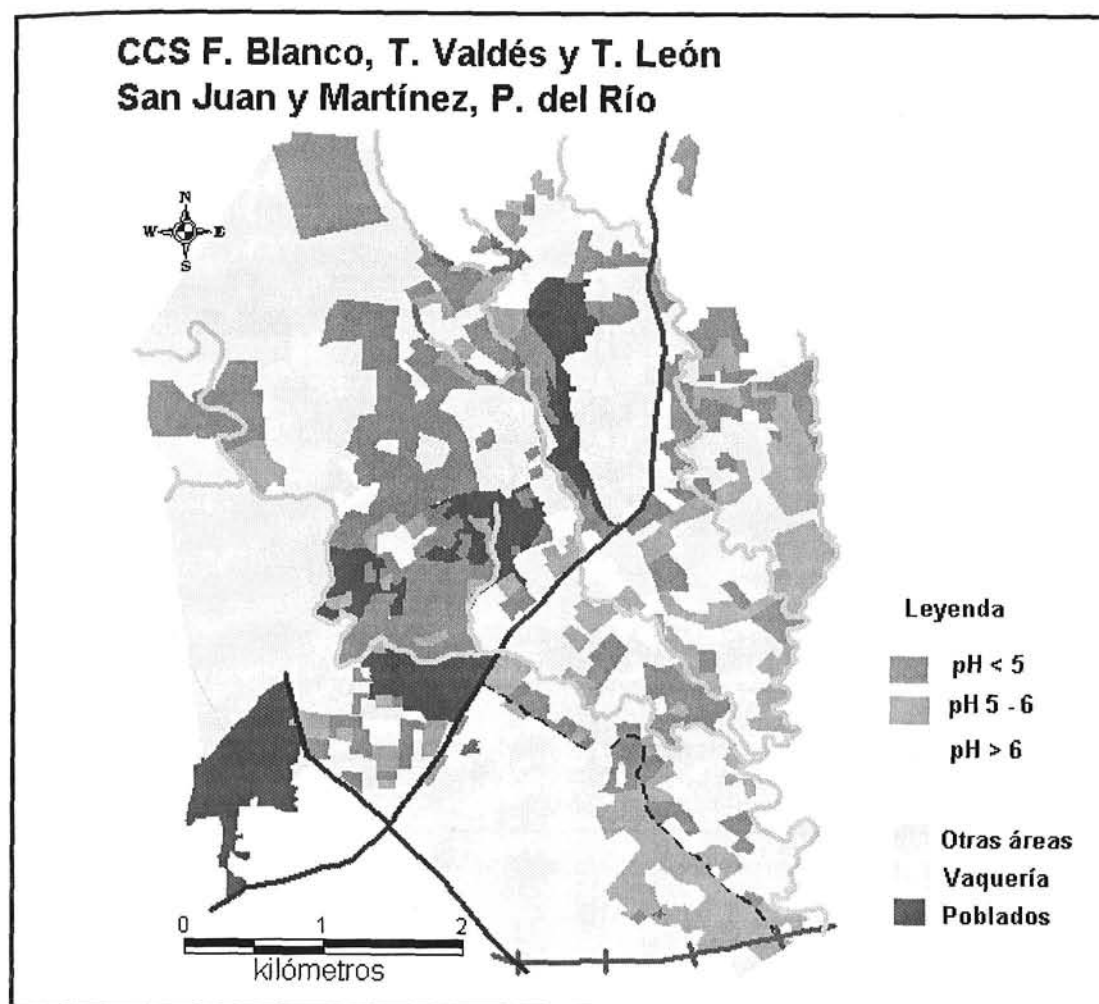


Figura 2.7.- Mapa de la variación del pH en el suelo

En este mapa se aprecian los graves problemas existentes en relación con la acidez predominante en estos suelos. Se trata en la mayor parte de los casos de parcelas con valores de pH por debajo de 6, son suelos ácidos en casi todos los casos.

La variación del contenido de materia orgánica (Figura 2.8) está estrechamente relacionada con el pH del suelo. Se puede apreciar rápidamente que la mayor parte de los suelos presenta contenidos de materia orgánica por debajo de 2%, lo que obliga a los productores a realizar casi todos los años tareas de mejoramiento de suelos, con el objetivo de obtener mejores producciones de tabaco

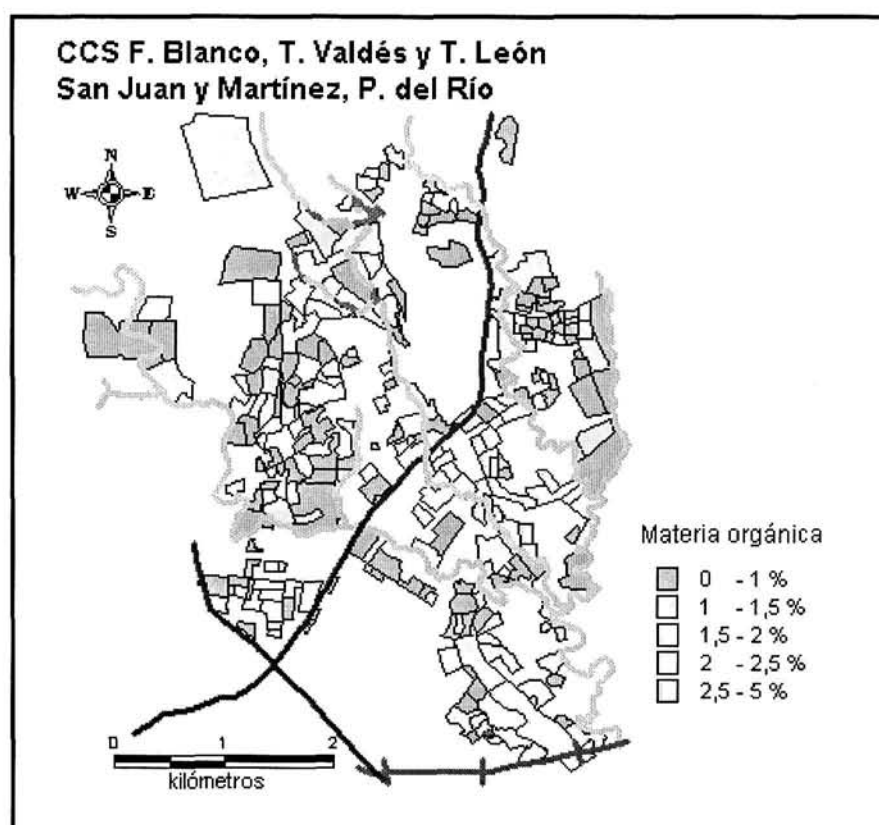


Figura 2.8.- Mapa de la variación del contenido de la materia orgánica en el suelo

Una herramienta importante del SIG es que permite obtener un mapa con la interacción de varios campos de los que aparecen en la base de datos. Así, a continuación se muestra un mapa con la interacción de los campos pH y Materia orgánica, lo que proporciona una información mas completa en relación con estas dos variables.

En la Figura 2.9 se aprecia que el número de parcelas donde se cumple la condición de tener contenidos de materia orgánica por encima del 2% y pH mayor que 5 son mínimos. La condición predominante es la de las parcelas con valores de pH menores o iguales a 5 y contenido de materia orgánica menor o igual a 2%. La elevada acidez puede favorecer la asimilación de elementos tóxicos para la planta.

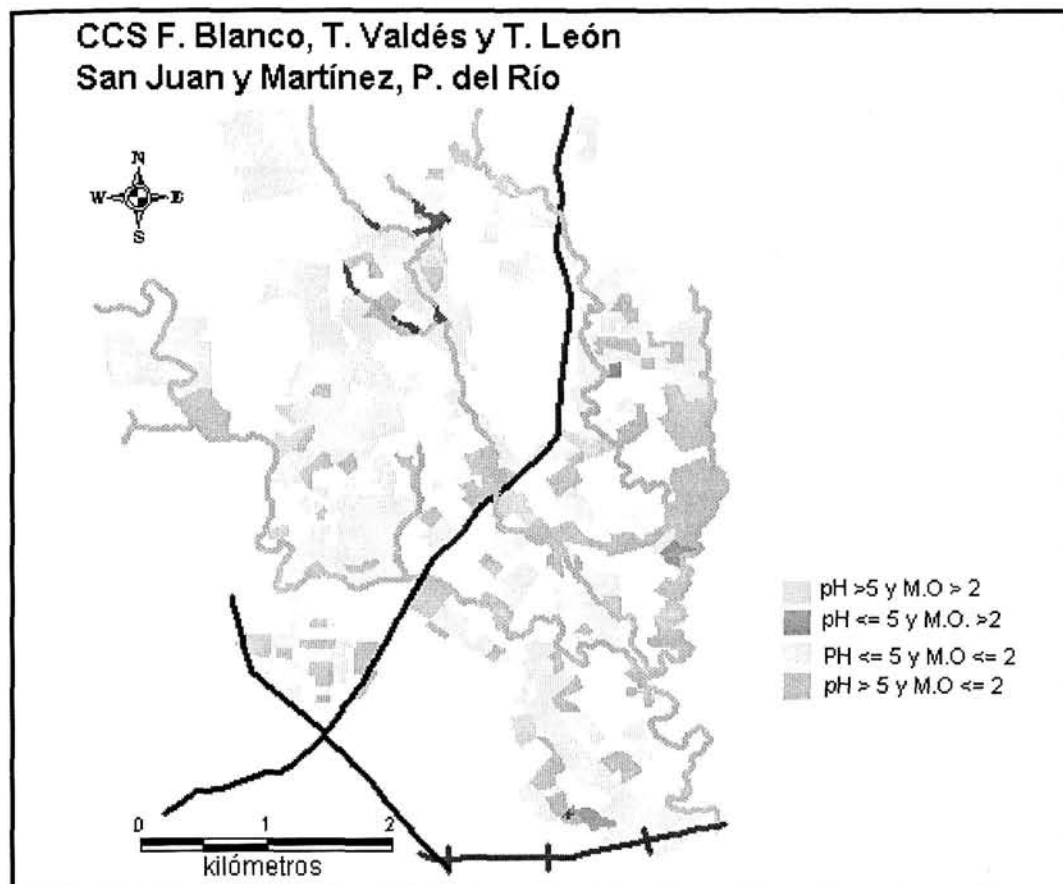


Figura 2.9.- Relación entre el pH y la materia orgánica en el suelo

Es significativo señalar que en las parcelas ubicadas al noroeste de la carretera que enlaza a los municipios de Pinar del Río con San Juan y Martínez predominan los campos con muy bajos valores de pH y de materia orgánica. Estos factores están asociados con los rendimientos que se obtienen en estas áreas.

En el caso de los rendimientos (Figura 2.10), se puede apreciar que en general, se consideran bajos. En la mayor parte de las parcelas, los rendimientos se encuentran en un rango entre 200 y 400 quintales por caballería. Expresados estos rendimientos en toneladas por hectárea, significan entre 0,7 y 1,4 toneladas por hectáreas, valores muy bajos comparados con la media internacional que se encuentra por encima de las 10 toneladas por hectárea. La Provincia de Pinar del Río cuenta con un récord en cuanto a los rendimientos, alcanzado en la campaña 2004-2005, en la que se obtuvo una media de 292 quintales por caballería, lo que equivale, aproximadamente, a una tonelada por

hectárea. Este valor supera el record anterior que quedó establecido en la cosecha del 2002-2003 y que era de 257 quintales por caballería (Suárez, 2005).

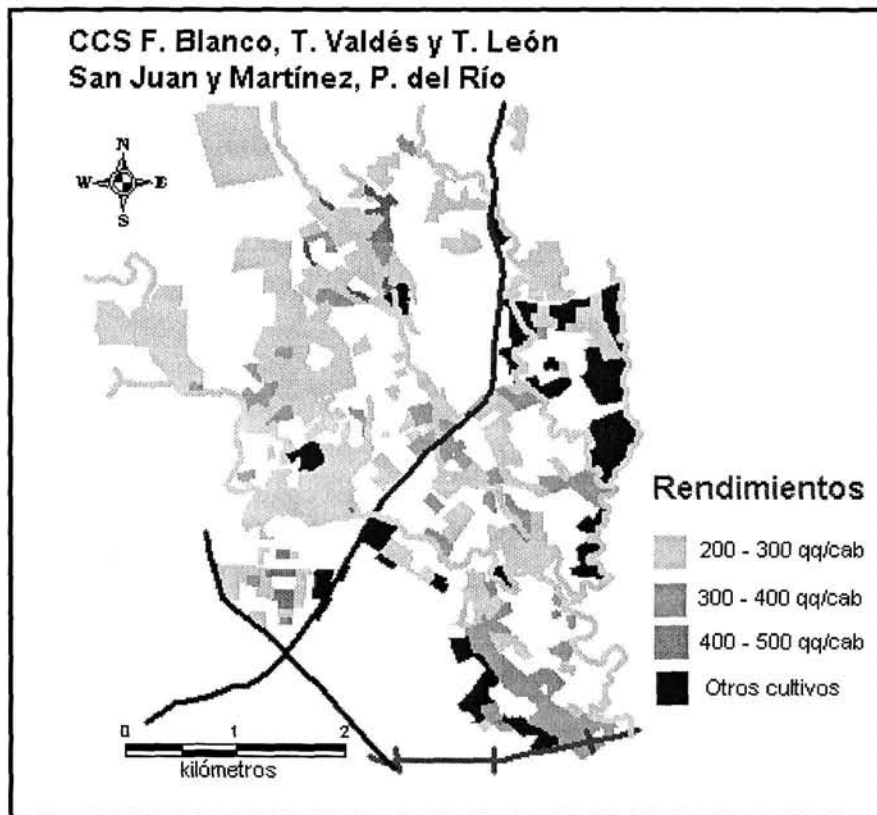


Figura 2.10.- Mapa de la variación de los rendimientos.

Los factores determinantes en estos bajos rendimientos, como son la fertilización, el contenido de materia orgánica, la acidez del suelo y otros, se analizan en detalle en la siguiente sección.

Análisis estadístico de los resultados.

A continuación se realiza un estudio estadístico de las variables cuantitativas que fueron agrupadas en la base de datos asignados a MapInfo. En la Tabla 2.1 se analizan los rangos de estas variables.

Tabla 2.1 Rangos de las variables cuantitativas.

Variables	Min	Media	Max	Std. Dev	Std. Error
Acidez del Suelo (pH)	3,40	4,77	7,40	0,84	0,06
Calcio (cmol/kg suelo)	0,96	3,30	8,00	1,65	0,12
Magnesio (cmol/kg suelo)	0,02	0,74	1,99	0,48	0,03
Potasio (cmol/kg suelo)	0,15	0,41	1,42	0,18	0,01
Sodio (cmol/kg suelo)	0,040	0,062	0,080	0,016	0,001
Suma cationes de cambio (cmol/kg suelo)	1,41	4,51	10,20	1,95	0,14
Capacidad cambio catiónico (cmol/kg suelo)	3,80	7,05	14,42	1,88	0,13
Porcentaje de saturación de bases (%)	31,30	61,32	89,77	12,04	0,86
Fósforo total (%)	10,40	26,11	59,90	9,39	0,67
Potasio total (%)	10,00	21,00	38,10	6,25	0,45
Materia orgánica (%)	0,15	1,15	2,75	0,54	0,04
Humedad higroscópica (%)	0,90	1,75	2,90	0,42	0,03
Profundidad efectiva (cm)	25,00	44,88	60,00	11,25	0,81
Rendimiento histórico (qq/caballería)	200,00	258,28	485,00	54,55	3,91

Con respecto a la acidez del suelo, se aprecia una media del pH de 4,77, lo que indica la necesidad de continuar con las enmiendas en los suelos con vistas a revertir este valor tan elevado en la acidez. Los suelos con valores de pH inferiores a 4,5 son considerados suelos extremadamente ácidos (Jiménez, 1983; Sánchez, 1996), donde es desfavorable el desarrollo radicular, es bajo el valor S, se produce una reducción de la actividad microbiana y de la nitrificación, se puede producir una parcial insolubilización del fósforo con hierro y aluminio aunque mejora la asimilación de oligoelementos.

Un elemento importante en la nutrición de las plantas está dado por la relación ínter nutriente. Según F.A.O., las proporciones ideales de los cationes, respecto a la

Capacidad cambio catiónico (valor T), deben ser las siguientes: Calcio: 60-80% de T, Magnesio: 10-20% de T, Potasio: 2-6% de T y Sodio de 0-3% de T (Jiménez, 1983; Sánchez, 1996). En este caso se obtiene una relación Ca^{2+}/T igual a 46,8%, lo que refleja una insuficiencia respecto al Calcio. Para el Magnesio la relación es igual a 10,5%, para el Potasio la relación es de 5,8% y para el sodio 0,8%, lo que indica niveles adecuados para estos tres elementos. Los niveles de materia orgánica son bajos, en tanto los contenidos de fósforo total, y potasio total son adecuados. La profundidad efectiva es adecuada para este cultivo.

Tabla 2.2 Comparación entre las tres CCS

Variables	Cooperativa de créditos y servicios			Std. Dev	Std. Error
	FB	TL	TV		
Acidez del Suelo (pH)	4,53 b	4,98a	4,85 a	0,84	0,06
Calcio (cmol/kg suelo)	2,76 b	4,07 a	2,87 b	1,65	0,12
Magnesio (cmol/kg suelo)	0,54 b	1,05 a	0,52 b	0,48	0,03
Potasio (cmol/kg suelo)	0,42 a	0,40 a	0,43 a	0,18	0,01
Sodio (cmol/kg suelo)	0,056 b	0,065 a	0,067 a	0,02	0,001
Suma cationes de cambio (cmol/kg suelo)	3,77 b	5,57 a	3,89 b	1,95	0,14
Capacidad cambio catiónico (cmol/kg suelo)	6,21 b	8,12 a	6,64 b	1,88	0,13
Porcentaje de saturación de bases (%)	57,7 b	67,3 a	56,8 b	12,04	0,86
Potasio total (%)	25,6 b	23,6 b	32,1 a	9,39	0,67
Fósforo total (%)	21,4 a	21,1 a	20,0 a	6,25	0,45
Materia orgánica (%)	1,14 ab	1,23 a	0,99 b	0,54	0,04
Humedad higroscópica (%)	1,88 a	1,68 b	1,65 b	0,42	0,03
Profundidad efectiva (cm)	38,1 c	51,6 a	45,3 b	11,25	0,81
Rendimiento histórico qq/caballería.	247,5 b	253,6 b	288,3 a	54,55	3,91

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación Student-Newman-Keuls (SNK)

En la Tabla 2.2 se realiza una comparación entre las tres cooperativas en función de las variables anteriormente analizadas. Los resultados obtenidos en esta Tabla reflejan las características que existen entre las tres áreas que fueron objeto del estudio. El pH en la CCS Francisco Blanco (FB) difiere significativamente con respecto a las CCS Tomás

León (TL) y a la CCS Tomás Valdés (TV). En el caso del Calcio y el Magnesio, la TL difiere significativamente con respecto a las otras dos CCS. No existen diferencias significativas entre las tres CCS con respecto a los contenidos de Potasio intercambiable.

Los contenidos de Sodio son más bajos significativamente en la cooperativa FB. Con respecto a la Suma cationes de cambio (S), Capacidad cambio catiónico (T), y Porcentaje de saturación de bases (V), tienen un comportamiento similar, por cuanto las cooperativas FB y TV difieren significativamente de la TL. Otras variables se muestran en la tabla. Con respecto al rendimiento, se observa que los mayores rendimientos se obtienen en la CCS Tomás Valdés, con una media de 288,3 quintales por caballería, inferior a la media provincial más alta de 292 quintales por caballería.

A partir de todas las variables incorporadas a la base de datos del SIG, se realizó un análisis de componentes principales con el objetivo de distinguir, entre todas las variables estudiadas, aquellas que tienen una mayor contribución a la obtención de mayores rendimientos de tabaco y por tanto son las variables que mas influyen en la obtención de mayores volúmenes de producción de la hoja. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2.3

Como se puede apreciar, en el primer componente parecen un grupo de variables que son las que más se relacionan con la variable rendimiento. Estas son: Potasio total, Materia orgánica, Potasio intercambiable, Suma de cationes de cambio, Calcio, Fósforo total, Rendimiento histórico, Capacidad de cambio catiónico, Porcentaje de saturación de bases, Acidez del Suelo (pH) y la Humedad higroscópica. Todas estas variables se correlacionan positivamente.

Tabla 2.3 Componentes de la matriz rotada

Componentes de la matriz rotada	Componente					
	1	2	3	4	5	6
Potasio total	0,98	-0,08	-0,01	0,01	-0,01	-0,01
Materia orgánica	0,95	-0,05	-0,05	0,09	-0,07	-0,01
Potasio	0,95	-0,05	0,03	-0,11	0,05	0,02
Suma de cationes de cambio	0,92	0,15	-0,11	0,29	-0,06	0,06
Calcio	0,91	0,11	-0,13	0,16	-0,10	0,07
Fósforo total	0,91	-0,07	-0,02	-0,26	0,16	0,08
Rendimiento histórico	0,89	0,01	-0,11	-0,20	0,14	0,10
Capacidad de cambio catiónico	0,89	0,16	-0,17	0,27	-0,06	0,06
Porcentaje de saturación de bases	0,83	0,13	-0,04	0,35	-0,05	0,10
Acidez del Suelo (pH)	0,73	0,02	-0,17	0,12	0,11	-0,05
Humedad higroscópica	0,54	-0,10	0,18	-0,12	-0,32	-0,01
Erosión	0,002	0,90	-0,08	-0,07	0,13	0,11
Profundidad efectiva	0,01	0,89	-0,12	0,08	-0,08	-0,01
Pendiente	-0,11	-0,75	0,27	0,04	0,09	-0,17
Contenido de gravas	-0,03	0,74	0,33	0,09	0,10	0,09
Saturación	-0,17	-0,52	0,34	0,32	0,51	0,11
Humificación	-0,22	0,04	0,85	-0,05	0,23	0,12
Categoría agroproductiva	-0,07	-0,01	0,85	-0,02	-0,08	-0,10
Profundidad pedológica	0,02	-0,24	0,02	0,77	-0,29	0,03
Magnesio	0,25	0,24	-0,02	0,68	0,05	-0,03
Material basal	0,03	-0,50	-0,20	0,62	0,14	0,36
Textura	0,03	-0,22	-0,12	-0,01	0,62	-0,59
Sodio	0,15	0,07	-0,04	0,07	0,16	0,76

Rotated Component Matrix

Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a) Rotation converged in 9 iterations.

En un segundo componente aparecen: Erosión, Profundidad efectiva y contenido de gravas correlacionadas positivamente, en tanto, en este mismo componente principal aparecen otras dos variables pero correlacionadas negativamente, estas son: Pendiente y Saturación.

En el resto de los componentes aparecen otras variables que evidentemente tienen una menor contribución al rendimiento obtenido en las cosechas. En un tercer componente aparecen la Humificación y la Categoría agroproductiva. En el cuarto componente se encuentran la Profundidad pedológica, Magnesio y Material basal. En el quinto componente aparece la Textura y en el sexto y último componente aparece el contenido de Sodio en el suelo.

A continuación se procedió a obtener la matriz de correlación correspondiente. Los resultados de la matriz de correlación se muestran en la Tabla 2.4 (Anexo 02). Se aprecia que los coeficientes de correlación entre el Rendimiento y el Potasio total (0,94), la Materia orgánica (0,91), el Potasio intercambiable (0,97), y el Fósforo total (0,96), todos por encima de 0,90, son altamente significativos. Son altamente significativos también los coeficientes de correlación entre el rendimiento y el valor S (suma de cationes de cambio), el valor T (capacidad de cambio catiónico), el valor V (porcentaje de saturación de bases), contenido de calcio, el pH del suelo y la Humedad higroscópica.

Todos estos elementos corroboran la hipótesis de que el rendimiento de esta variedad de tabaco se encuentra en función de tres factores fundamentales:

- La fertilización, teniendo en cuenta una adecuada relación ínter nutriente.
- El contenido de materia orgánica en el suelo.
- La acidez del suelo (pH)

Se realizó adicionalmente un análisis cluster (Hierarchical Cluster Analysis). Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 2.11

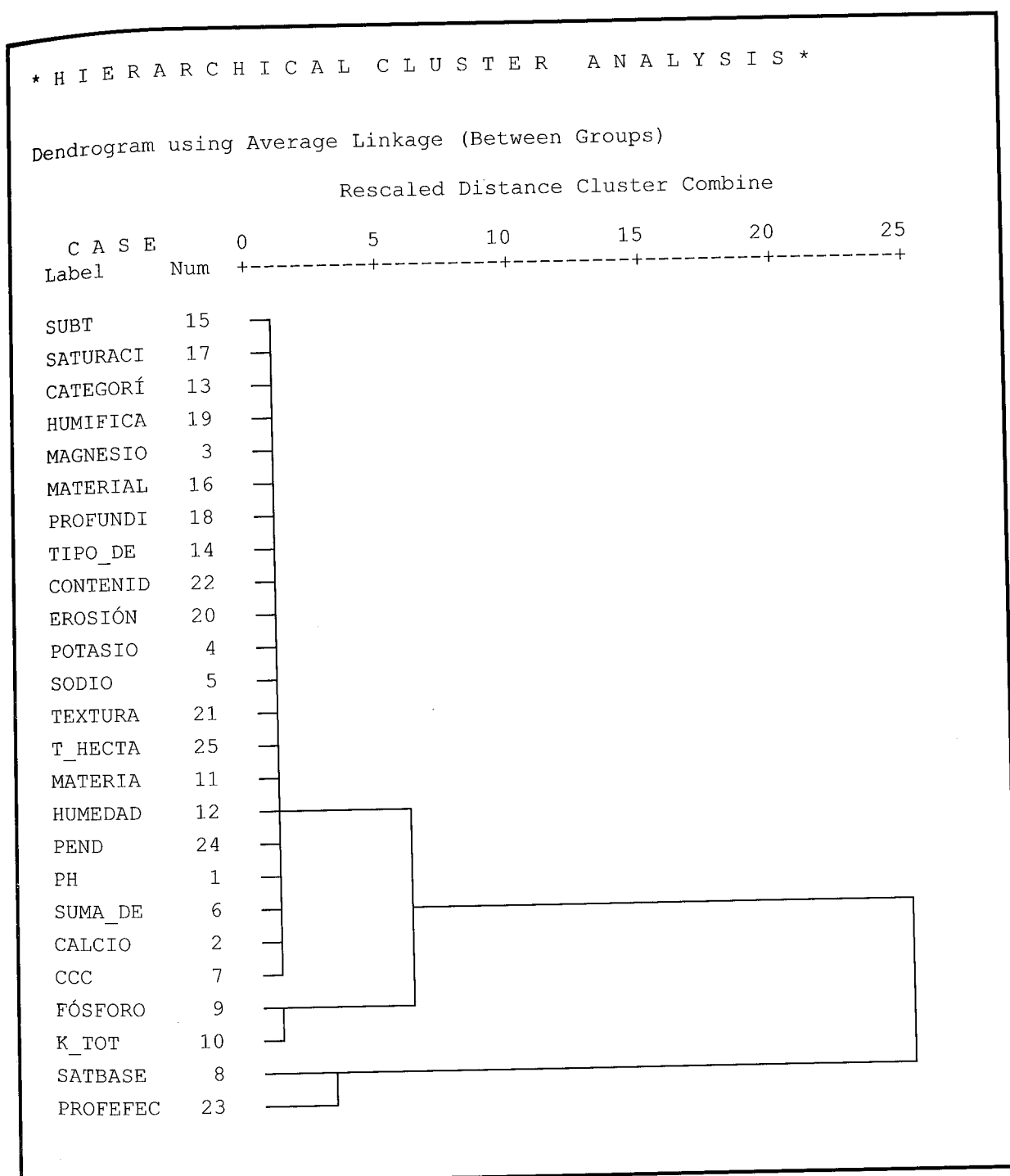


Figura 2.11 Análisis cluster

El resultado del análisis cluster (Figura 2.11) establece una relación entre el contenido de Fósforo y Potasio total con el resto de las variables estudiadas. Partiendo de los resultados anteriores y utilizando como herramienta el SIG (MapInfo), se planificó para la siguiente cosecha un monitoreo de un grupo de campos de tabaco de cada una de las Cooperativas estudiadas. Los resultados de este estudio se detallan en el Capítulo 3 de esta tesis.

Para concluir con la etapa de exploración y diagnóstico, se tomaron muestras de tabaco de las tres cooperativas y fueron sometidas al análisis por el método de Espectroscopia de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (EE-ICP). En la Tabla 2.5 se observa el resultado de los análisis. Se seleccionaron 9 muestras de tabaco de forma aleatoria entre los campos objeto de estudio.

Tabla 2.5.- Resultados generales de las muestras de tabaco de las tres CCS.

Elemento	No	Min	Med	Max	Std. Desv	Std. Error
K(%)	9	5,84	6,21	6,54	0,24	0,08
Ca(%)	9	4,40	4,63	4,96	0,21	0,07
Mg(%)	9	0,61	0,76	0,84	0,10	0,03
P(%)	9	0,39	0,43	0,47	0,03	0,01
Fe(%)	9	0,35	0,39	0,42	0,03	0,01
B(mg/kg)	9	40,40	42,62	45,00	1,70	0,57
Cu(mg/kg)	9	169	528	1228	496	165
Ni(mg/kg)	9	0,60	1,04	1,60	0,40	0,13
Mn(mg/kg)	9	97,4	131,9	193,4	43,7	14,6
Zn(mg/kg)	9	104,2	200,8	348,0	108,7	36,2
Cd(mg/kg)	9	0,48	0,84	1,28	0,32	0,11
Pb(mg/kg)	9	0,90	1,57	2,40	0,60	0,20

En el caso de algunos metales pesados, como el Níquel, el Cadmio y el Plomo, no se observan elevadas concentraciones, y en los tres casos sus concentraciones se encuentran por debajo de 1 mg/kg.

Se realizó un análisis comparativo entre las tres cooperativas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.6. De los resultados del análisis estadístico se aprecia que no existen diferencias significativas entre las tres CCS en cuanto al contenido de Cd, Pb y Ni. Además, los niveles de estos metales pesados encontrados en las hojas de tabaco de las tres cooperativas estudiadas se encuentran por debajo de los límites aceptados por diferentes países que realizan importaciones de productos agrícolas.

Tabla 2.6.- Análisis comparativo entre las CCS

Conc.	CCS			Std. Desv	Std. Error
	FB	TL	TV		
K(%)	6,5a	6,2b	5,9 c	0,24	0,08
Ca(%)	4,6b	4,4b	4,9a	0,21	0,07
Mg(%)	0,84 a	0,80 b	0,63 c	0,10	0,03
P(%)	0,44 b	0,47 a	0,39 c	0,03	0,01
Fe(%)	0,40 b	0,42 a	0,35 c	0,03	0,01
B(mg/kg)	41,1 b	42,1 b	44,6 a	1,70	0,57
Cu(mg/kg)	195,7 b	1189,3a	200,2 b	496	165
Ni(mg/kg)	1,07 a	1,13 a	0,93 a	0,40	0,13
Mn(mg/kg)	107,2 b	98,6 c	189,9 a	43,7	14,6
Zn(mg/kg)	154,4b	342,7a	105,4c	108,7	36,2
Cd(mg/kg)	0,85 a	0,91 a	0,75 a	0,32	0,11
Pb(mg/kg)	1,60a	1,70a	1,40a	0,60	0,20

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación Student-Newman-Keuls (SNK)

Como se observa en la Tabla anterior, existen diferencias significativas entre las tres CCS, con respecto a las concentraciones de los elementos encontrados en la hoja de tabaco. Así, difieren los contenidos de Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo, Hierro, Boro, Cobre, Manganeseo y Zinc. Se destaca en la CCS Tomás León la alta concentración de Cobre, lo que coincidió con la aplicación de un fungicida a base de Cobre en algunos campos de esta cooperativa. Los elevados contenidos de este elemento no se registraron en campañas posteriores.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN EDÁFICA Y PRODUCTIVA DE LAS ÁREAS DE LA EMPRESA TABACALERA DE SAN JUAN Y MARTÍNEZ, PINAR DEL RÍO: PROPUESTA DE MANEJO POR MEDIO DE UN SIG.

CONCLUSIONES:

1. Se estableció un Sistema de Información Geográfico (SIG) dentro de la Empresa tabacalera de San Juan y Martínez en la Provincia de Pinar del Río, que facilita el análisis de todas las variables introducidas en el sistema y conduce a una más rápida y eficiente toma de decisiones.
2. Los contenidos de los metales pesados Ni, Cd y Pb en la hoja de tabaco se encuentran por debajo de los niveles máximos permitidos y no afectan la calidad exportable de este producto.
3. Los rendimientos de la variedad de tabaco "Criollo 98" se encuentran en función de tres factores fundamentales:
 - La fertilización, teniendo en cuenta una adecuada relación ínter nutriente.
 - El contenido de materia orgánica en el suelo.
 - La acidez del suelo (pH)

CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD "CRIOLLO 98" EN SUELOS DE TRES COOPERATIVAS DE LA EMPRESA TABACALERA DE SAN JUAN Y MARTÍNEZ, PINAR DEL RÍO

INTRODUCCIÓN

En el Capítulo anterior se inició el estudio de tres Cooperativas de la Empresa Tabacalera del Municipio de San Juan y Martínez en la Provincia de Pinar del Río. Estas Cooperativas se dedican en lo fundamental al cultivo del tabaco, el cual es muy exigente a determinadas características del suelo en que se planta, después de la etapa de semillero. Muchos esfuerzos se realizan antes, durante y posterior a la cosecha en la dirección de lograr un manejo sostenible de los suelos dedicados a esta tarea, de gran impacto económico para la Provincia. En relación con los suelos de estas cooperativas se profundizará mas adelante.

El tabaco es sumamente exigente al suelo, ya que este importante componente del agroecosistema tiene marcado efecto en el desarrollo de la planta, su rendimiento y calidad y, por tanto, en la eficiencia agroeconómica de este cultivo. Al igual que las condiciones climáticas que hay que analizarlas en conjunto, el suelo hay que interpretarlo como un sistema (Guardiola, 1990). No obstante para su mejor comprensión se presenta una valoración de los requerimientos del tabaco en relación con las principales cualidades físicas, químicas y biológicas.

Textura.

El tabaco es una planta que precisa de adecuados contenidos de aire en el suelo. Su sistema radical se caracteriza por presentar poco poder de penetración, y a pesar de ser una planta dicotiledónea, el sistema de raíces es clasificado como fasciculado denso debido a la atrofia que sufre en el arranque de la postura en el semillero, extraordinariamente sensible al exceso de humedad. Por tanto, desde el punto de vista

textural el suelo debe ser friable, con buena porosidad total y bien proporcionado los macro y microporos (Cuba, 1984; Mari y Hondal, 1984).

Los contenidos de materia orgánica son capaces de modificar no sólo la física del suelo, sino el comportamiento de sus cualidades químicas y biológicas, por tanto una textura quizás dudosa, pero con adecuados tenores de materia orgánica es mejor que otra bien definida con bajos niveles de ella. El efecto tan favorable de la materia orgánica puede argumentarse con el criterio científico de que ella es capaz de desagregar los suelos muy arcillosos y agregar los arenosos (García, 1993).

No todos los tipos de tabaco requieren de la misma textura, lo que indica que no existe una alta plasticidad en esta planta para esta característica. Los más exigentes a ella son: el Virginia y el tabaco negro cultivado bajo tela y los menos exigentes, lo que no significa que la textura en un momento dado sea limitante para su cultivo, el Burley y los tabacos negros de sol ensartado y en palo. Se puede apreciar de modo general, que es muy importante la relación entre textura, estructura y contenidos de materia orgánica, debido a que ello permite seleccionar suelos, sobre todo arcillosos, que por tener adecuados tenores de materia orgánica y estructura se caractericen por poseer propiedades físicas, químicas y biológicas que satisfagan las exigencias del tipo de tabaco a plantar (Mari y Hondal, 1984).

Estructura.

La estructura ejerce marcado efecto sobre la relación aire-agua del suelo, la permeabilidad y, por tanto, en el drenaje interno, en la susceptibilidad a la erosión y la porosidad entre otras cualidades físicas y en los manejos fitotécnicos del agroecosistema, tales como: el laboreo del suelo, riego, producción de propágulos y el desarrollo del sistema de raíces de la planta (González, 1992).

Muchos de los suelos dedicados al cultivo del tabaco en Pinar del Río carecen de estructura por ser arenosos, pero otros han experimentado modificaciones desfavorables de este indicador, debido al mal manejo e inestabilidad en los

agroecosistemas. Es de suma importancia mantener la estructura y evitar su degradación (Riverol, 1986).

Drenaje interno y externo.

El tabaco es un cultivo que requiere del drenaje interno y externo, al extremo de que un suelo que no cumpla con estos requisitos no debe ser empleado para este fin. Se pudiera admitir dificultades con el drenaje externo, el que pudiera ser mejorado sin grandes inversiones. Por lo general los terrenos caracterizados por el mal drenaje interno se descartan para este cultivo, lo que no quiere decir que en la actualidad no exista alrededor de un 10 a 15 % de campos que lo presenten (Quintana, 1981).

Densidad aparente.

La densidad aparente mantiene estrecha relación con el desarrollo del sistema radical, por cuanto mientras mayor sea el valor de ella las raíces crecerán con mayor dificultad. La tendencia será a una mayor compactación y se presentarán afectaciones en la relación aire-agua, en la porosidad y calidad del laboreo del suelo. De ahí que los suelos dedicados al tabaco se seleccionen con densidades aparentes bajas y que se trate de emplear tecnologías poco agresivas al medio ambiente, para que no se reduzcan significativamente los contenidos de materia orgánica y de tal forma se mantenga en niveles aceptables de ella (Bustios, 1999).

Profundidad de la capa activa.

Este es uno de los factores limitantes del rendimiento del tabaco en Pinar del Río, ya que una proporción bastante significativa de los campos presenta profundidad de la capa activa inferior a 20 cm. Se plantea que este cultivo precisa de suelos profundos, no menos de 40 a 50 cm, aunque en la práctica se desarrolla bien en profundidades de 30 a 40 cm. La falta de profundidad de la capa arable puede conducir a las afectaciones. Aún cuando hay muchos factores que afectan la profundidad de la capa arable del suelo, es la erosión la causa fundamental que incide en ella, por lo que se deben establecer todas las medidas para contrarrestarla (Cabrera, et al. 1996).

Porosidad.

El tabaco requiere de suelos de alta porosidad total (35 a 45%) y adecuada proporción entre macro y microporos, dependiendo ello de un conjunto de factores relativos al manejo en general del agroecosistema y en particular del correcto laboreo del suelo y de su contenido de materia orgánica. Los macroporos influyen en la aireación y la capacidad de infiltración; mientras que los microporos determinan la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, así como, la disponibilidad de agua para la planta y el movimiento capilar vertical y lateral (Azcón, et al. 2000).

Permeabilidad.

Suelos poco permeables no son adecuados para el tabaco. Para contrarrestar la baja permeabilidad, lo primero que se debe hacer es el diagnóstico de la causa que la origina y a partir de éste trazar las medidas para atenuarla. La aplicación de materia orgánica además de mejorar la permeabilidad tiene efectos positivos muy marcados por lo que se descarta que no se recomiende esta enmienda. No sucediendo así con la subsolación, la que se recomienda en suelos relativamente muy profundos y cuando hay piso de aradura, capa endurecida ya sea de arcilla u otro obstáculo y se realice en el momento adecuado, con la humedad requerida y los equipos e implementos recomendados (García, 1993).

Retención de humedad.

Por lo señalado en acápites precedentes y teniendo en cuenta la necesidad de regular los regímenes hídrico y nutricional, no se admiten suelos para el cultivo del tabaco que se caractericen por su alta retención de humedad. Se debe tener en consideración además que en estos campos se dificultaría el control de enfermedades, fundamentalmente pata prieta y moho azul, a la vez que se afectarían los tenores de oxígeno en el suelo, lo que repercutiría negativamente en el desarrollo radical. De persistir estas condiciones y presentarse precipitaciones aún ligeras, la recolección resultaría difícil (Cuba, 1998).

Acidez del suelo (pH).

Relacionado con la concentración de hidrogeniones hay que tener presente, al menos, el valor de pH y la propiedad buffer del suelo, la cual depende, dentro de otros aspectos, de la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, el porcentaje de saturación por bases, la cantidad y calidad de las arcillas y de la estabilidad del agroecosistema.

Los suelos de Pinar del Río en su mayoría son poco arcillosos y por lo general arenosos, tienen poca capacidad buffer y, por tanto, se desestabilizan muy fácilmente cuando no se realiza un adecuado manejo en ellos. Esto unido a los valores totales de precipitaciones, cercanos a 1 300 mm, y a la relativa alta capacidad de infiltración favorece un mayor lavado de bases, lo que determina los bajos valores de pH que se reportan en estos suelos (Bustios, 1982).

El tabaco de modo general, se desarrolla bien en rangos de pH entre 4 y 8,5. En Cuba no se presentan dificultades ocasionadas por el pH alcalino, pero sí por acidez, ahora bien, cuando la acidez hidrolítica se encuentra por debajo de 4,5 unidades, se pueden presentar síntomas de toxicidad, dado a que en tales condiciones el hierro, aluminio y manganeso se encuentran muy solubles en la solución del suelo y pueden ser asimilados por la planta en cantidades muy superiores a las que esta tolera. Lo más usual es que cuando existe un campo con pH muy ácido se aplique carbonato de calcio y no se mejore la capacidad buffer del suelo y a su vez se mantengan tecnologías de alta agresividad al medio ambiente, lo que indudablemente no es sostenible desde los puntos de vista económicos, social y ambiental. Por ello para mantener el pH en los rangos adecuados al tabaco durante muchos años, se precisa de la utilización de medidas que se integren en el sistema agrícola con concepción agroecológica.

Materia orgánica.

No todos los tipos de tabaco requieren iguales niveles de materia orgánica. De manera general se dice que el tabaco no necesita altos niveles orgánicos en el suelo y se considera que no deben mantenerse por encima de 3 % ni por debajo de 1,5 %. Esto se

podiera explicar teniendo en consideración la prioridad de controlar el régimen nutricional e hídrico de la planta. El tabaco Virginia es el que precisa de menores tenores de materia orgánica (0,8 y 1,2 %); mientras que el Burley, los de rellenos para puros y cigarrillo negro requieren de altos niveles (2, y 2,5 %) y el tabaco para envolturas los más altos (superiores al 3 %).

Uno de los factores que más limita la calidad y el rendimiento del tabaco en Cuba es el bajo contenido de materia orgánica de los campos, sobre todo porque no se utilizan fuentes orgánicas y hay gran deterioro del entorno. Hoy día es difícil encontrar terrenos, incluso de tabaco tapado en que se sobrepase el 2,2 % de materia orgánica y es común que los de relleno se sitúen entre 0,8 y 1,2 % (García, 1993).

La necesidad de materia orgánica en los suelos, ha dado lugar a que se utilicen los compost procedentes de residuos sólidos urbanos y de aguas residuales. Esto se debe, además de por ser unos excelentes fertilizantes orgánicos por su elevada concentración en nitrógeno y fosfatos, se contribuye a dar salida a la cantidad de toneladas de lodos que son producidos en las estaciones de depuración. Hay que decir que, además, es un recurso muy barato, y que aportan elementos esenciales como hierro, cobre, manganeso y zinc. En contrapartida a todo lo mencionado anteriormente, el problema se presenta cuando se encuentran metales pesados y elementos traza metálicos, los cuales tienen en el suelo una concentración inferior a 0,1%, siendo los más comunes el cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, arsénico y zinc.

Uno de los principales problemas que presentan estos elementos, es la capacidad que tienen a cambiar de forma y de elemento asociado con los constituyentes del suelo. Algunas veces estas formas son inertes y difícilmente detectables, y otras veces son químicamente muy activas, lo cual hace que se solubilizcen, se recombinen, circulen dentro de los suelos, llegue a la capa freática o a los vegetales. Tan solo la identificación de sus distintas formas nos informará sobre este polimorfismo.

La presencia de esta carga metálica, comporta un alto riesgo químico, por que diferentes plantas redistribuyen estos elementos de manera no homogénea, lo cual conlleva evidentes riesgos sanitarios y edafoambientales.

La necesidad de aporte de materia orgánica al suelo agrícola justifica el estudio de la sustitución parcial o total, según usos y cultivos, de los fertilizantes químicos tradicionales por abonos orgánicos procedentes de residuos, pero, el posible daño, en forma de contaminación de suelos por parte de elementos potencialmente tóxicos en determinadas concentraciones y condiciones plantea el continuo estudio de sus impactos en el suelo y los cultivos.

Contenido de cloruro.

Si el objetivo comercial del tabaco no es para rapé, ni para mascar, entonces es fundamental valorar este aspecto debido a que el cloro tiene un marcado efecto en la combustibilidad de la hoja. No se trata ni del efecto salino que ocasiona el cloruro de sodio, ni de que este elemento resulte tóxico en la planta, ya que puede encontrarse hasta en el 10 % de la masa seca total, pero tan solo con 0,5 a 1 % es suficiente para que la hoja sea de mala combustibilidad (Cuba, 2000).

Los suelos que contengan más de 1 % de cloruros o que tengan tendencia a mantener esos valores no deben ser elegidos para cultivar en ellos el tabaco, aún cuando se pueden emplear medidas que contribuyan a bajar dicho contenido. Es sumamente importante diagnosticar la causa que motiva la llegada del cloro al suelo, ya que es posible con su eliminación que por medio de las precipitaciones y otras sencillas alternativas se pueden alcanzar niveles bajos. Esto es factible cuando la causa sea la fuente de riego y/o la aplicación de materia orgánica.

Relación internutrientes.

El tabaco es una planta que extrae grandes cantidades de nutrientes en un período relativamente corto, siendo el orden de extracción el siguiente: potasio, nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio y elementos menores. Por su naturaleza y bajos contenidos

de materia orgánica, los agroecosistemas dedicados al tabaco son de baja fertilidad, en particular, en nitrógeno y fósforo; sin embargo, hoy en día los contenidos de fósforo total y soluble y de potasio se catalogan como medios y en ocasiones altos en Cuba (Díaz, 1993).

Uno de los problemas de los campos dedicados al tabaco en Pinar del Río es el relativo a la desproporción en la relación internutrientes y como no son aplicados los fertilizantes a través de portadores, sólo existe dos o tres formulaciones completas y además no se hace rotación de cultivos, tal problemática es difícil de resolver, al menos a corto plazo.

Capacidad de intercambio catiónico.

Mientras mayor es la capacidad de intercambio catiónico de un suelo, menores serán las pérdidas de nutrientes, ya sean por lixiviación, percolación o insolubilización. Por este motivo se trata de seleccionar suelos con relativa alta capacidad de intercambio catiónico, aunque se debe señalar que esta cualidad depende, en gran medida, de la cantidad y tipo de arcilla presente en el suelo y de los tenores de materia orgánica (Laski, 1988). En el caso de los suelos de Pinar del Río, que son de bajos contenidos de arcilla su capacidad de intercambio catiónico es bastante baja, por lo que se debe incrementar por medio de la aplicación de materia orgánica, para facilitar la formación de coloides orgánicos.

No es posible lograr alta efectividad en el aprovechamiento de fertilizantes en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y ello presupone, en el caso de aquellos nutrientes fácilmente lixiviables, como son el nitrógeno y en menor medida el potasio que sean aplicados de forma fraccionada y aún así, en caso de precipitaciones intensas y frecuentes es necesario añadir dosis complementarias. Esta práctica se sigue con periodicidad en los semilleros tradicionales.

Cadmio y Plomo en el tabaco.

En general el tabaco es utilizado para la fuma, sin embargo, muchas personas lo mastican al fumar el puro o simplemente lo mastican sin fumarlo, incorporando a su organismo extractos adicionales a los que penetran con el humo, por lo que se puede considerar la toxicidad de algunas especies químicas en función del consumo, por las personas adictas, de la hoja de tabaco.

La toxicidad del cadmio se deriva de la capacidad que tiene para unirse a ciertas especies reactivas o agentes complejantes, dando lugar a la inhibición enzimática, provocando disfunciones en el crecimiento y metabolismo tisular. El 55º informe del Comité mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios (Ginebra, junio 2000), en su evaluación de cadmio como contaminante, siguió manteniendo la Ingesta Semanal Tolerable Provisional (ISTP) del cadmio en 7 µg /kg de peso corporal. (Almudena, A.; Lizaso, J.; 2003).

El Reglamento 466/2001 de la Comisión, establece el contenido máximo de cadmio en varios alimentos, entre ellos carne de animales (0,05 mg/kg, excepto carne de caballo, que fija 0,2 mg/kg), hígado y riñones de animales de abasto (0,5 mg/kg y 1,0 mg/kg respectivamente), carne de pescado (0,05 mg/kg, excepto ciertas especies que se permite hasta 0,1 mg/kg), crustáceos (0,5 mg/kg), moluscos bivalvos y cefalópodos (1,0 mg/kg) y diversos vegetales con valores que oscilan desde 0,05 hasta 0,2 mg/kg.

Respecto a la limitación vigente establecida en piensos y en materias primas destinados a la alimentación animal, el Real Decreto 747/2001 establece de 0,5-1 mg/kg para piensos compuestos, hasta 5 mg/kg en piensos minerales, 1 mg/kg en materias primas de origen vegetal y 2 mg/kg para las de origen animal, permitiéndose un valor de hasta 10 mg/kg en el caso del fosfato.

La OMS establece la ISTP de Pb en 25 µg/kg peso. La principal vía de ingestión de la población que no padece exposición laboral a este elemento es la alimentación. Cuando la cantidad de Pb ingerida es superior a la que se elimina, el Pb se deposita en distintos

órganos, especialmente en huesos, hígado, riñón y cerebro.

El contenido máximo del plomo también se encuentra regulado en los alimentos por el Reglamento 466/2001 del Consejo. Los límites se han fijado para productos como la leche y preparados para lactantes (0,2 mg/kg), carne de animales de abasto (0,1 mg/kg), despojos comestibles de animales de abasto (0,5 mg/kg), carne de pescado (0,2 mg/kg excepto ciertas especies que admiten 0,4 mg/kg), crustáceos (0,5 mg/kg), moluscos bivalvos (1,5 mg/kg), cefalópodos (1,0 mg/kg), grasas y aceites (0,1 mg/kg) y diversos productos vegetales y derivados que oscilan en contenido máximo de Pb entre 0,05 y 0,2 mg/kg).

Los límites legales para el Plomo establecidos por el Real Decreto 747/2001, son los siguientes: materias primas para la alimentación animal 10 ppm, excepto forrajes verdes, fosfatos y levaduras cuyos límites son respectivamente 40, 30 y 5 ppm. Para los piensos compuestos, los valores son de 5 ppm si se trata de piensos completos y de 10 ppm si son piensos complementarios (Almudena, 2003).

Teniendo en cuenta que el tabaco es un cultivo estratégico en la obtención de divisas para el país y en particular para la Provincia de Pinar del Río, que es absolutamente necesario mantener la calidad de sus producciones, que tiene fama de ser el mejor del mundo, que la calidad de las producciones están estrechamente relacionadas con la calidad de los suelos y sus propiedades, que en los últimos años se ha producido un incremento en la existencia de trazas de metales pesados en las hojas de tabaco, por todo lo anterior, se realiza este trabajo, con el objetivo de caracterizar, en la producción, la planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L., variedad "Criollo 98" en suelos de tres cooperativas de créditos y servicios pertenecientes a la Empresa Tabacalera del Municipio de San Juan y Martínez, municipio de mejor calidad en la provincia y en el país, en la producción de la hoja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área seleccionada para el estudio pertenece a la Empresa de Tabaco del Municipio de San Juan y Martínez de la Provincia de Pinar del Río. En este trabajo se evalúa un área que comprende las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) Tomás León, Tomás Valdés y Francisco Blanco, con un área total de 901,51 hectáreas, de las cuáles 437,64 están dedicadas al tabaco. Se seleccionaron, de forma aleatoria, 10 campos de cada una de las cooperativas para los análisis correspondientes. Se determinaron contenidos totales en suelo y en la planta de tabaco. En el caso de los micronutrientes y metales pesados se estudiaron los niveles bioasimilables o extraíbles.

En la Tabla 3.1 se resumen los datos climáticos de la zona para el periodo comprendido entre Enero 2000 y Diciembre 2004.

Tabla 3.1.- Datos climáticos para el Municipio de San Juan y Martínez

Año	Tem_Max Promedio	Tem_Min Promedio	Tem_Med Promedio	Hr_Med Promedio	Lluvias_24hSuma	Lluvias Anual
1995	29,71	20,61	24,62	83,02	73,54	2647,50
1996	29,47	20,04	24,18	81,59	44,70	1609,30
1997	30,04	21,07	24,81	84,31	57,52	2070,70
1998	30,23	21,13	25,09	82,52	54,40	1958,30
1999	29,80	20,08	24,51	81,30	47,99	1727,60
2000	29,95	20,05	24,50	80,80	35,21	1267,50
2001	30,00	20,40	24,69	80,22	35,19	1267,00
2002	30,31	20,86	25,03	82,26	58,83	2118,00
2003	29,92	20,61	24,95	81,64	33,65	1211,30
2004	30,12	20,20	24,74	78,86	31,74	1142,70

Estación: San Juan y Martínez (78314)

Periodo: 2000 - 2004

La altitud del área oscila entre los 25 y los 85 metros sobre el nivel medio del mar; y presenta un relieve que va de casi llano hasta ligeramente ondulado con pendientes entre el 1.5 y el 4%.

El rango de temperaturas promedios varía desde 20,05 °C hasta 30,31 °C. La Humedad relativa promedio varía desde el 78,86% hasta el 82,26%. Humedades superiores

favorecen la aparición de enfermedades fungosas. Con respecto a las lluvias es necesario destacar que el cultivo del tabaco se realiza en la época de seca, es decir, a partir del último trimestre del año y el primer trimestre del siguiente año, por lo que los períodos lluviosos no han incidido directamente en los resultados de las cosechas.

Las condiciones del drenaje superficial son buenas dadas por la topografía predominante y la red de cañadas y arroyos, incluyendo la prolongación de los ríos San Juan, San Sebastián y Río Seco.

La vegetación natural como consecuencia del desarrollo agrícola ha sido casi extinguida. En las áreas no cultivadas como las márgenes de ríos y arroyos, aún se observan guásimas, palma real, algarrobo, así como otras plantas de manigua. En áreas cultivadas crecen otras plantas como la verdolaga, el chamico, malva blanca, dormidera y diversas gramíneas típicas de sabanas arenosas.

DETERMINACIÓN DE NIVELES FONDO

El muestreo seleccionado en este caso es tanto de tipo horizontal como vertical. La selección de los puntos de muestreo se realizará en función de la unidad fisiográfica de pertenencia. En cada punto se tomarán hasta 8 muestras, a una profundidad de 0 a 20cm, posteriormente se mezclan todas las porciones y mediante un procedimiento de cuarteo se selecciona una muestra de un kilogramo aproximadamente, la cual se identifica con el número del campo a que pertenece y la cooperativa correspondiente. Las muestras se tomaron con barrenas o abriendo las calicatas correspondientes. Las muestras se introducen en bolsas de plástico herméticamente cerradas para que conserven la humedad.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE SUELO

La muestra se somete a un procedimiento de secado al aire. Una vez secas se separan de elementos gruesos, se reduce el tamaño de los agregados y se tamizan a través de malla de 1mm. Todos los datos obtenidos están referidos a cantidad de muestra seca.

DETERMINACIÓN DEL pH

Se toman 10 g de suelo, se añaden 25 ml de agua desionizada y se agita durante 30 minutos. Se mide el pH directamente en la suspensión obtenida.

DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

Se midió la conductividad en el líquido sobrenadante obtenido para la medida del pH. Los análisis de conductividad y de pH se realizaron en los laboratorios de Química Analítica de la Universidad de Pinar del Río

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE LOS METALES PESADOS

La digestión por microondas permite preparar la muestra para el análisis multielemental por Espectroscopía de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (EE ICP) siguiendo la norma EPA 3051. Se pesa una cantidad de muestra entre 0.4 y 0.5 g en un vaso de teflón de alta presión donde se añaden 10 ml de ácido nítrico para análisis 65%. Después de finalizada la digestión se deja enfriar durante una hora. Se abren los reactores y se filtra el contenido enrasando a 25 ml. La muestra esta lista para el análisis. Los reactores se limpian usando 5 ml de ácido nítrico al 60% en las mismas condiciones.

DETERMINACIÓN DE NIVELES EXTRAÍBLES

Existen diferentes sistemas utilizados para la determinación de los niveles extraíbles de micronutrientes y metales pesados. En todos se produce una aproximación de lo que puede extraer el sistema radical de las plantas. Se afirma que la utilización de ácido acético 0,43M da idea de la fracción disponible de metal en el suelo cuando se realizan estudios sobre movilidad y biodisponibilidad de metales en suelos presumiblemente contaminados. Además la concentración utilizada 0,43M es la mas apropiada para la todo el rango de pH de los suelos. En este sentido la adopción en nuestro estudio de HAcO 0,5M como reactivo extractante para la determinación del contenido biodisponible de Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Co en suelos, resulta adecuado ya que permitirá comparar resultados de otros estudios de características similares. Esta extracción se realiza añadiendo a 5 g de suelo seco, 50 mL de la disolución extractiva de HNO₃ 0,5 mol/L. Se

mantiene durante 5 minutos en agitación y se filtra hasta obtener un líquido, se enrasa hasta 50 mL y se guarda en un frasco debidamente etiquetado.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS UTILIZADOS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO UNIVARIANTE

Se han caracterizado las poblaciones de datos obtenidos para cada una de las variables determinadas, mediante medidas de tendencia central, variabilidad y descriptiva de la distribución del conjunto de datos.

ANÁLISIS DE VARIANZA

Con el fin de comprobar la homogeneidad de la zona estudiada con respecto al contenido en metales pesados, se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Esta técnica estadística estudia el efecto producido por la variación de dos parámetros, para comprobar su significación estadística. En nuestro caso, uno de los parámetros es la distribución de los metales y otro las cooperativas estudiadas. Las muestras de suelo de las parcelas seleccionadas son representativas de la zona objeto de estudio.

PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN DE MUESTRAS APAREADAS

Son contrastes de hipótesis empleados para comparar dos a dos muestras y determinar si existen diferencias significativas entre ellas o ambas representan a la misma población. La prueba de significación aplicada dependerá de si las poblaciones que se comparan siguen una distribución normal o no. Si las poblaciones corresponden a una distribución normal se aplica una prueba t por parejas y cuando no lo sean se utilizará un método no paramétrico.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El análisis en componentes principales, ACP (Hopke, 1983; Mengle, 1991 y Wenning, 1994), es un procedimiento matemático que permite extraer gran cantidad de información, a veces no aparente a primera vista, de una serie de datos relativos a diversas muestras u objetos. Dichos resultados experimentales pueden presentarse en forma de matriz, en la cual cada fila corresponde a un objeto (muestra de suelo) y cada columna a una variable o magnitud analítica (pH, conductividad, concentración en determinado metal etc.).

Es de utilidad cuando el volumen de datos de que se dispone dificulta el reconocimiento de pautas. El ACP es una técnica para reducir el número de datos cuando está presente la correlación. Se trata por tanto de encontrar componentes principales que sean combinación lineal de las variables originales que describen cada muestra. Los coeficientes de la combinación lineal, se eligen de manera que las nuevas variables, no se encuentren correlacionadas unas con otras. Las variables pueden ser de diverso origen desde el punto de vista químico-analítico, en nuestro caso, son los parámetros físico-químicos analizados en las muestras de suelo.

Existen soluciones muy diferentes que pueden satisfacer la ecuación matricial interesando sólo aquella que cumpla los siguientes requisitos:

1. Deben explicar la mayor parte de la varianza de la tabla original.
2. Las nuevas variables latentes deben ser ortogonales
3. El número de factores F debe ser tan pequeño como sea posible.

Los valores propios (eigenvalues) de los componentes principales representan el porcentaje de varianza que puede explicar el componente principal, mientras que las cargas de los factores (loadings) son coeficientes que expresan la contribución de las variables originales al componente principal.

Una rotación de los ejes o componentes principales permite obtener unas nuevas variables que expliquen un mayor porcentaje de varianza de los datos experimentales. Se ha elegido la rotación Varimax, que consiste en disminuir contribución de las variables que contribuyen poco, aumentando simultáneamente las que contribuyen más. Mediante la aplicación de la rotación se obtienen una serie de valores y factores de significado totalmente paralelo a los anteriores valores propios y factores (sin rotar). La representación gráfica de los nuevos valores de los componentes en las muestras sobre los dos o tres primeros factores rotados permite visualizar la presencia de grupos de objetos. La determinación se ha realizado con el paquete estadístico SPSS 10.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de estudiar el comportamiento de la Variedad Criollo 98 en condiciones de producción, así como las características de los suelos donde se desarrolla este cultivo y la presencia en ellos de los elementos Cadmio y Plomo, se dio inicio a este trabajo en el que, además, se determinaron los factores limitantes de estos suelos, las medidas para mejorar dichos factores y los posibles rendimientos a alcanzar.

En las 901.51 hectáreas estudiadas se observaron 4 tipos genéticos de suelos (Tabla 3.2), predominando los ferralíticos cuarcíticos amarillos, y los amarillo rojizo lixiviados y aluviales. Estos sub-tipos se correlacionaron con 3 órdenes de la Soil taxonomy sobresaliendo el orden Ultisol.

Tabla 3.2.- Área y suelos estudiados

Tipo genético	Área (ha)	Descripción	Soil taxonomy (Orden)
V	456,73	Ferralítico cuarcítico amarillo lixiviado	Ultisol
VI	109,79	Ferralítico cuarcítico amarillo rojizo lixiviado	Ultisol
VIII	53,92	Ferralítico pardo rojizo	Inseptisol
XXVI	281,07	Aluvial	Entisol
Total	901,51		

El 51 % de los campos responden a las características de suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado). Estos son suelos de perfil ABC o ABL formados a partir de esquistos cuarcíticos micáceos (generalmente con venas de cuarzo) en los cuales ocurre el proceso de ferralitización que conlleva a la formación de minerales arcillosos del grupo de las caolinitas y también un poco de vermiculita y clorita, así como óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio que le confieren el color amarillo característico.

La capacidad catiónica cambiante CCC es menor que 5 cmol (+)Kg.⁻¹, estando los suelos por lo general, fuertemente desaturados, lo cual provoca que el pH sea ácido (menor que 6) con predominio del aluminio en la acidez cambiante.

Presenta un porcentaje de huminas de 44 - 45 %, con una relación Húmico-Fúlvico de 0.4-0.5 que disminuye rápidamente en profundidad (0.1-0.2). La relación C/N en suelos normales es mayor que 15, pero en los erosionados es de 10. En la Tabla 3.3 se muestran las características químicas y físico-químicas de los subtipos de suelos estudiados. Se aprecian valores de pH muy ácidos en el tipo de suelo Aluvial, que representa el 31% del área total estudiada.

Tabla 3.3.- Características físico-químicas de los subtipos de suelo

Sub - Tipo de suelo	Área (ha)	pH/ CIK	%		cmol.Kg ⁻¹ de suelo						%		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	M.O.	hy
VA	456,73	4,9	31,3	15,0	2,7	0,12	0,46	0,04	3,37	6,52	52	1,07	1,3
VI A	109,79	4,2	21,0	21,6	2,6	1,25	0,46	0,08	4,35	7,6	57	1,53	1,5
VIII A	53,92	5,5	26,5	16,6	6,9	1,46	0,19	0,04	9,04	12,2	74	1,7	1,8
XXVIS	255,16	4,3	40,8	20,1	2,0	1,15	0,25	0,08	3,48	6,02	58	1,04	1,3
XXVI T	25,91	3,8	39,9	16,7	1,0	0,37	0,44	0,04	1,85	5,32	35	0,76	1,6
Std. Deviation		0,7	14,5	2,8	2,3	0,6	0,1	0,2	2,7	2,7	13	0,4	1,8
Std. Error		0,3	6,5	1,2	1,0	0,3	0,06	0,09	1,2	1,2	6	0,2	0,8

S = suma de bases (calcio, magnesio, potasio y sodio)

T = Capacidad de cambio catiónico

V = Porcentaje de saturación de bases

Los análisis agroquímicos arrojaron un total de 284.79 hectáreas con el pH menor de 5, 46.24 con bajo contenido de fósforo, 149.38 con bajo contenido de potasio, 365.65 con bajo contenido de magnesio y 237.8 con bajo contenido de materia orgánica en áreas dedicadas al cultivo del tabaco.

La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinto dependiendo de una serie de características edáficas. El pH es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. La adsorción de los metales

pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también sus solubilidades (Cano Parrilla et al., 1997).

El contenido de materia orgánica (MO) es bajo y se debe mejorar, pero muchas variedades de tabaco se desarrollan adecuadamente en estas condiciones. La materia orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables. La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo. La estabilidad de los complejos tiende a seguir la siguiente secuencia: $\text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn} = \text{Co} > \text{Zn}$. (Cano Parrilla et al., 1997)

La humedad higroscópica (Hy), en todos los casos por debajo de 8 es adecuada para el cultivo del tabaco y en general para la mayoría de las especies, sobre todo para aquellas especies que necesitan una adecuada aireación del suelo, como es el caso de la planta de tabaco.

La suma de las bases (valor S), corresponde a la suma de los principales cationes retenidos por el suelo, (Ca, Mg, K, Na). Los valores encontrados se corresponden con los reportados por el MINAGRI para los suelos de Cuba. La capacidad de cambio catiónico (Valor T) se encuentra en casi todos los casos por debajo de 10 lo que clasifica como valores muy bajos para estos suelos. El porcentaje de saturación (Valor

v) esta muy relacionado con el pH y con la acidez hidrolítica. En estos casos son suelos ácidos que requieren enmiendas de ligeras a medianas.

El contenido de P_2O_5 se encuentra en un rango entre bajo y medio en los diferentes subtipos de suelo. Los contenidos de K_2O son medios para los suelos estudiados.

En la Tabla 3.4 se muestra la Capacidad de campo (CC en %), densidad aparente (DA en g/cm^3), porcentaje de arcilla, coeficiente de marchites para la planta de tabaco (CM en %) y velocidad de infiltración (VI en mm/h). Las características hidrofísicas tomadas a través de los perfiles típicos de la zona denotaron capacidades de campo entre el 14 y el 36%, coeficiente de marchites entre 5 y 25%, densidad aparente entre 1.4 y 1.8 y velocidad de infiltración entre 24 y 126 mm/h.

Tabla 3.4.- Características hidrofísicas.

Sub-tipo de suelo	Área física (ha)	% C.C.	C.M	D.A.	V.I.	% de Arcilla
VA	456,73	14,0	5,0	1,8	126	12,9
VI A	109,79	16,3	8,2	1,7	72	18,8
VIII A	53,92	36,0	26,5	1,4	45	40,6
XXVIS	255,16	18,0	11,0	1,6	20	16,0
XXVIT	25,91	21,3	14,0	1,5	24	18,0
Std. Deviation		8,73	8,28	0,16	43,55	11,05
Std. Error		3,91	3,70	0,07	19,48	4,94

La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

La estructura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo. Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables

del poder de adsorción de estos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

La capacidad de cambio está en función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

Factores limitantes

Los factores limitantes fundamentales detectados fueron la erosión, la acidez, la gravillosidad, bajo contenido de materia orgánica, mal drenaje y poca profundidad; sobresaliendo la acidez, la erosión y el bajo contenido de materia orgánica.

Según la evaluación de las áreas, existen 224.95 hectáreas de categoría I, 623.86 de categoría II y 52.70 de categoría III y no hay áreas de categoría IV dedicadas a este cultivo.

Profundidad efectiva

Es la profundidad hasta la cual pueden penetrar las raíces sin ningún impedimento e influye directamente en el desarrollo del cultivo ya que puede limitar la absorción de agua, de nutrientes y un buen anclaje. En los suelos de nuestra provincia el mejor desarrollo en el cultivo del tabaco se alcanza con más de 40 cm., con menos de 30 cm. se observan limitaciones fuertes y con menos de 20 cm. se puede producir la muerte del cultivo ante cualquier factor adverso. En esta zona se detectaron 99.89 hectáreas con profundidades inferiores a los 30 cm, 86.18 hectáreas en la CCS Francisco Blanco y 13.72 hectáreas en la Tomás León

Erosión

La erosión es el factor limitante fundamental y por tal motivo debe prestársele gran atención, ya que de no poder controlarse los suelos pueden volverse totalmente improductivos. Durante este trabajo se pudo observar que existían 499.91 hectáreas afectadas por los diferentes grados de erosión

Acidez

La acidez constituye el primer factor limitante de mayor consideración ya que afecta a un total de 590.92 hectáreas y de ellas se dedican al cultivo del tabaco 284.79 hectáreas. La acidez extrema afecta el desarrollo del cultivo y la calidad de la hoja por lo que se hace necesario la realización de enmiendas calcáreas.

Graviliosidad

Las gravas se encuentran presentes en todas las áreas en mayor o menor cantidad según su cuantía pueden beneficiar o perjudicar el desarrollo del cultivo. Cuando se dispone de regadío se ha observado que hasta un 40% de gravas no limita el desarrollo de la plantación pero cuando se cultiva en seco más del 20% afecta el desarrollo normal del cultivo. En esta zona existen 253.20 hectáreas con más del 20% de gravas. Las aplicaciones de materia orgánica disminuyen el efecto negativo que produce el exceso de graviliosidad.

Drenaje

El drenaje produce afectaciones relativamente pequeñas en áreas situadas cerca a los márgenes de los ríos y arroyos y durante el estudio se pudieron observar un total de 123.16 hectáreas afectadas por este factor. La medida fundamental en estas áreas es evitar las siembras muy tempranas.

Otros factores: Existen otros factores como son el contenido de nutrientes (fósforo, potasio, calcio, magnesio y materia orgánica) que también influyen en el desarrollo del cultivo pero que resultan más fácil de enmendar en la práctica. En las tablas anexas se detalla a nivel de parcelas el contenido de cada uno de estos elementos y a

continuación ofrecemos una tabla resumen a nivel de cooperativa (C.C.S.) con el comportamiento de cada uno de estos factores.

En la Tabla 3.5 se puede observar un resumen a nivel de C.C.S. con el área afectada con cada factor limitante.

Tabla 3.5.- Área afectada por cada factor limitante (Hectáreas)

C.C.S.	pH< 5	Bajo Fósforo	Bajo Potasio	Bajo Magnesio	Baja Materia Orgánica	Afectac. por erosión	Con más del 20% de gravas	Afectac. por profund.	Afectac. por drenaje
F. Blanco	333,97	87,43	84	345,18	286,93	256,38	153,81	151,65	-
Tabaco	137,83	18,42	21,57	145,97	137,23	116,27	87,86	84,26	
T. León	138,19	113,59	125,34	120,64	203,64	85,67	-	13,71	47,89
Tabaco	71,73	26,61	45,42	70,65	65,38	67,7	-	5,52	-
T. Valdés	118,76	11,72	116,04	249,8	216,41	157,86	99,39	-	75,27
Tabaco	75,23	1,21	82,39	149,03	34,47	98,65	40,17	-	33,72
Total	590,92	212,74	325,38	715,62	706,98	499,91	253,2	165,36	123,16
Tabaco	284,79	46,24	149,38	365,65	237,08	282,62	128,03	89,78	33,72

En la Tabla 3.6 se resumen los resultados de los suelos, así como los factores limitantes que fueron objeto de estudio.

En esta tabla no se consideran suelos No aptos para el cultivo del tabaco por la existencia de un gran número de limitaciones. Existen 52,7 hectáreas con fuertes limitaciones para el cultivo y 623,86 hectáreas con algunas limitaciones. Un total de 224,95 hectáreas se consideran suelos aptos, sin limitaciones para el cultivo.

Tabla 3.6.- Evaluación de suelos.

C.C.S.	Uso	I	II	III	IV	Total
		Suelos Aptos	Suelos Aptos con limitaciones	Suelos Aptos con fuertes limitaciones.	Suelos No Aptos	
Francisco Blanco	Tabaco	17,23	152,78	-	-	170,11
	Autoconsumo	7,82	123,93	-	-	131,75
	Monte y Manigua	0,62	55,9	-	-	56,52
	Otros	1	26,8	-	-	27,8
	sub.-Total:	26,77	359,41	-	-	386,18
Tomás León	Tabaco	51,85	63,06	2,51	-	117,42
	Autoconsumo	10,04	69,83	35,39	-	115,26
	Monte y Manigua	0,63	13,24	14,8	-	28,67
	Otros	-	3,1	-	-	3,1
	sub.-Total:	62,52	149,23	52,7	-	264,45
Tomás Valdés	Tabaco	103,25	46,86	-	-	150,11
	Autoconsumo	26,11	51,99	-	-	78,1
	Monte y Manigua	6,3	11,09	-	-	17,39
	Otros	-	5,28	-	-	5,28
	sub.-Total:	135,66	115,22	-	-	250,88
Total:		224,95	623,86	52,7	-	901,51

A partir de los factores anteriormente analizados se ha hecho un pronóstico de los posibles rendimientos a alcanzar, lo que evidencia las potencialidades en cuanto a rendimiento y producción.

Este pronóstico se muestra en la Tabla 3.7 y se consideran cada una de las cooperativas.

Tabla 3.7.- Producciones posibles a alcanzar.

C.C.S.	Área (ha)	Producción según Rendimiento Histórico (Toneladas)	Producción según Rendimientos Mínimos Potenciales (Ton)
Francisco Blanco	170,11	134,02	163,74
Tomás León	117,42	99,66	120,59
Tomás Valdés	150,11	172,44	185,34

De los resultados del estudio se deriva la necesidad de tomar una serie de medidas en función de mejorar las producciones futuras. En la Tabla 3.8 se resumen las necesidades de realizar enmiendas en estas áreas.

Tabla 3.8.- Necesidades de enmiendantes y medidas sencillas de conservación.

C.C.S.	Área (ha)	Carbonato de Calcio			Magnesita		Necesidad de medidas sencillas de conservación permanentes (ha).
		Dosis (t/ha)	Toneladas	Ha	Dosis t/ha	Toneladas	
Francisco Blanco	116,29	2,04	237,23	144,57	0,27	39,71	116,27
Tomás León	59,3	1,65	98,16	66,87	0,37	24,81	117,42
Tomás Valdés	37,0	2,01	74,09	98,03	0,33	32,35	98,65

La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

La estructura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo. Cada especie mineral tiene determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

Comportamiento de micronutrientes y metales pesados en las plantaciones de tabaco de las tres cooperativas estudiadas.

Se procesaron 10 muestras de suelo y 10 muestras de tabaco en cada Cooperativa. Estas muestras se tomaron de forma aleatoria, de manera que fuesen representativas de toda el área en estudio. A continuación se muestran los puntos de muestreo en la Figura 3.1.

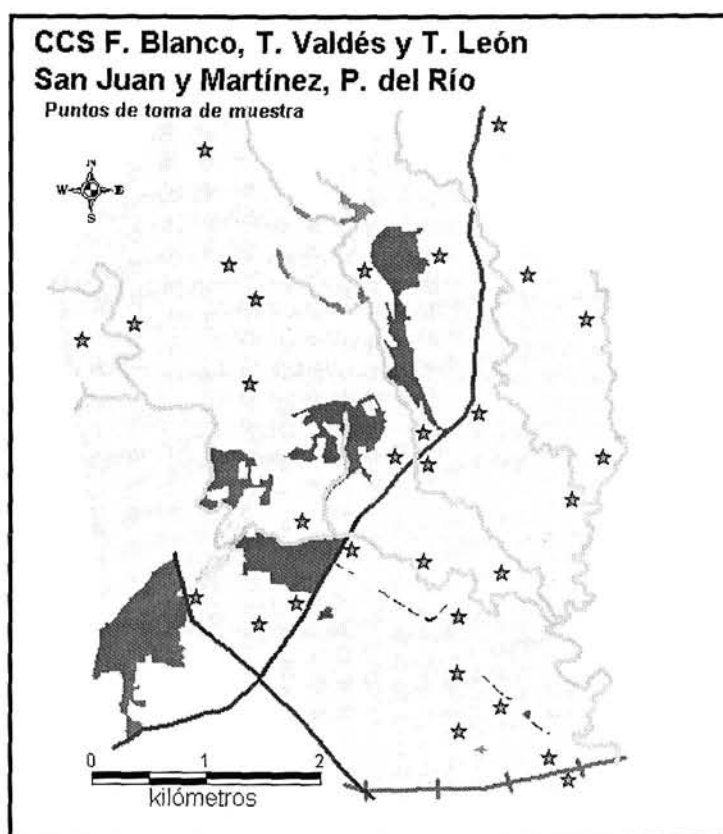


Figura 3.1 Indicación de los puntos de muestreo

En la Tabla 3.9 se aprecian los resultados obtenidos para las muestras de suelo de las tres cooperativas estudiadas. No se obtuvieron diferencias significativas en los valores de pH del suelo. Esta mejoría en los valores de acidez se justifica por las enmiendas realizadas (encalado y aplicación de materia orgánica).

Tabla 3.9.- Análisis de suelo. Comparación entre las CCS

Fracción	Elemento	Cooperativa de Créditos y Servicios			Std. Desv	Std. Error
		FB	TL	TV		
ANÁLISIS DE SUELO CONTENIDOS TOTALES	pH	6,43a	6,44a	6,90a	0,66	0,12
	Cond($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	234,15a	196,64a	158,40a	152,13	27,77
	K ₂ O(%)	42,8a	17,4b	42,3a	19,0	3,5
	Ca(%)	0,14a	0,15a	0,18a	0,05	0,01
	Mg(%)	0,06a	0,06a	0,07a	0,02	0,004
	P ₂ O ₅ (%)	26,8a	16,1b	17,0b	10,0	1,8
	Fe(%)	0,93a	1,10a	1,09a	0,30	0,05
	B(mg/kg)	1,05b	0,96b	1,23a	0,19	0,04
	Cu(mg/kg)	12,1ab	10,3b	14,9a	3,9	0,7
	Mn(mg/kg)	250,3b	225,1b	314,7a	74,8	13,6
	Zn(mg/kg)	43.41a	46.40a	50.10a	9,35	1,71
	Cd(mg/kg)	0,45a	0,43a	0,52a	0,19	0,04
	Pb(mg/kg)	17,26a	16,52a	17,68a	2,17	0,40

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Los valores de conductividad, por debajo de $350 \mu\text{S}/\text{cm}$ reflejan que, en todos los casos, se trata de suelos no salinos, de acuerdo con los criterios de salinidad para suelos de Doménech (1997).

No se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de Calcio y Magnesio. El contenido de Potasio es significativamente más bajo en la Cooperativa Tomás León, mientras que el contenido de Fósforo, como Fósforo total, es significativamente más alto en la Cooperativa Francisco Blanco con respecto a las dos restantes. Los contenidos de Hierro, Zinc, Cadmio y Plomo no difieren significativamente entre las tres cooperativas. En el caso de los contenidos de Boro, Cobre y Manganeseo, sus niveles son significativamente superiores en la cooperativa Tomás Valdés que en las dos restantes. No obstante se considera que estas diferencias no son de magnitud apreciable como para ejercer una influencia destacada en el desarrollo de la plantación de tabaco ya que la relación ínter nutriente se mantiene en un rango con pocas

variaciones.

En la Tabla 3.10 se muestra el resultado de los análisis de muestras de tabaco, tomadas en los suelos estudiados anteriormente.

Tabla 3.10.- Análisis de las muestras de tabaco

Fracción	Elemento	Cooperativa de Créditos y Servicios			Std. Desv	Std. Error
		FB	TL	TV		
TABACO	% cenizas	18,6a	17,0a	18,2a	4,0	0,7
	K(%)	5,7a	5,8a	6,4a	0,9	0,2
	Ca(%)	6,0a	6,0a	6,6a	2,6	0,5
	Mg(%)	0,99a	1,08a	1,04a	0,42	0,08
	P(%)	0,53a	0,83a	0,78a	0,50	0,09
	Fe(%)	0,29a	0,24a	0,24a	0,12	0,02
	B(mg/kg)	19,7a	19,2a	21,4a	17,7	3,2
	Cu (mg/kg)	4,68b	6,89a	4,36b	1,75	0,32
	Mn (mg/kg)	110,3ab	83,7b	135,0a	40,2	7,3
	Zn (mg/kg)	21,3a	22,9a	23,8a	5,9	1,1
	Cd (mg/kg)	0,80a	0,75a	0,88a	0,21	0,04
	Pb (mg/kg)	1,61a	1,52a	1,82a	0,41	0,08

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

Los resultados de la Tabla 3.10 muestran la similitud entre las tres áreas estudiadas, teniendo en cuenta que no se encontraron diferencias significativas en relación con los contenidos de los elementos Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo, Hierro, Boro, Zinc, Cadmio y Plomo. Los contenidos de Cobre fueron superiores en la Tomás León, en tanto que fueron inferiores los contenidos de Manganeso en esta misma cooperativa.

Los datos obtenidos de la campaña tabacalera del 2005 mostraron algunos indicadores muy relacionados con datos de campañas anteriores. La acidez del suelo fue uno de los parámetros estudiados. En la Figura 3.2 se muestra esta relación.

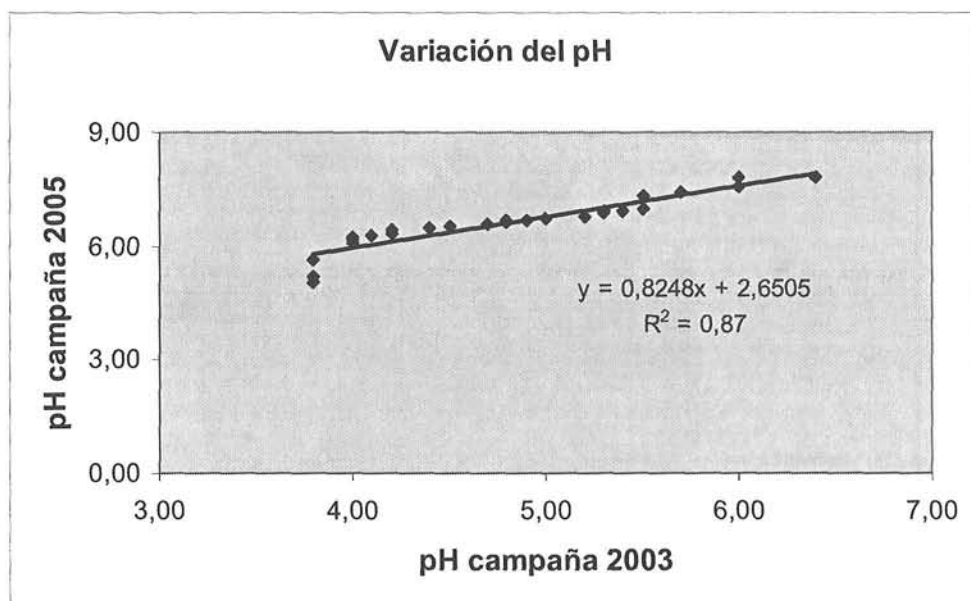


Figura 3.2 Relación entre los valores de pH entre las dos campañas analizadas

Se puede apreciar que las enmiendas realizadas al suelo, aplicación de materia orgánica y otras medidas, han conducido a un mejoramiento en estos parámetros.

Partiendo de la ecuación de regresión obtenida, se obtuvieron los valores de pH para todos los campos de las tres cooperativas estudiadas. Estos valores fueron introducidos en la base de datos del SIG y se obtuvieron los mapas temáticos de los valores de pH para toda el área estudiada. Estas variaciones se aprecian al valorar las Figuras 3.3 y 3.4. En la Figura 3.3 se puede observar un predominio de los suelos ácidos, con valores de pH inferiores a 5, mientras que en la siguiente figura se aprecia una mejor relación en los valores de este parámetro.

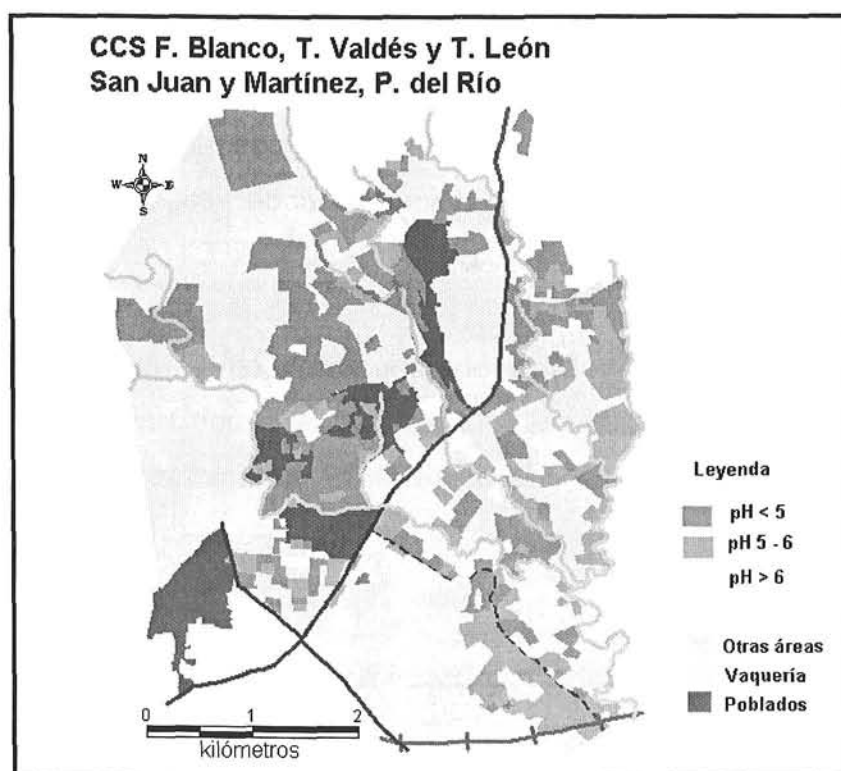


Figura 3.3 Variaciones del pH en los suelos, campaña 2003

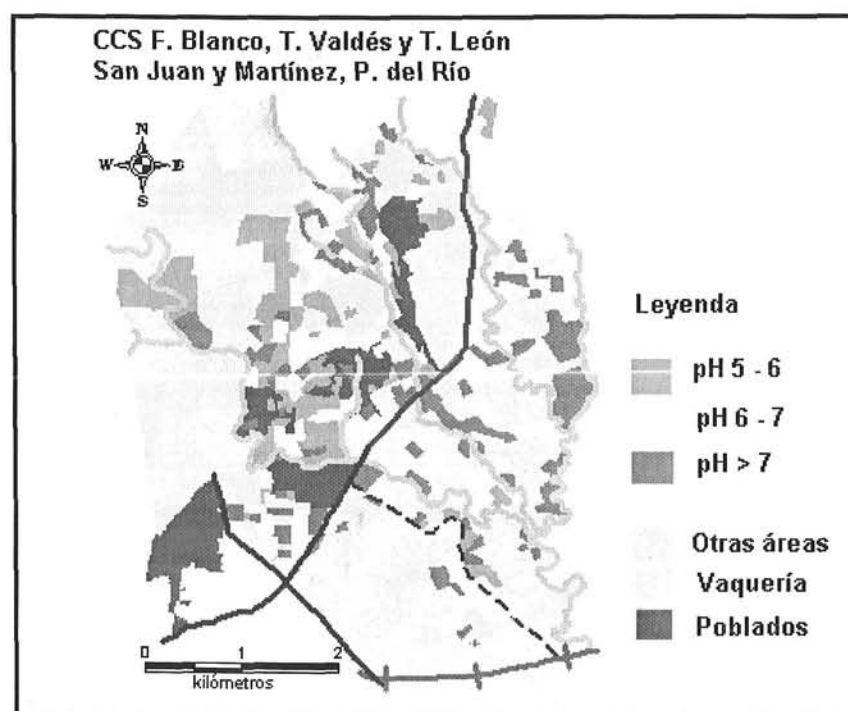


Figura 3.4 Variaciones del pH en los suelos, campaña 2005

Teniendo en cuenta los elementos aportados por los análisis de componentes principales y análisis de clúster realizados en el capítulo anterior, se realizó un análisis de regresión entre los contenidos de Potasio y Fósforo total y los diferentes niveles de Cadmio y Plomo (en el suelo, en la disolución extractiva o bioasimilable y en la planta de tabaco).

Los resultados obtenidos no mostraron una adecuada regresión entre el Fósforo total y los diferentes niveles de Cadmio y Plomo, dados los bajos valores de los coeficientes de regresión que se determinaron. En la Figura 3.5 se muestra este análisis entre el Fósforo y el Cadmio.

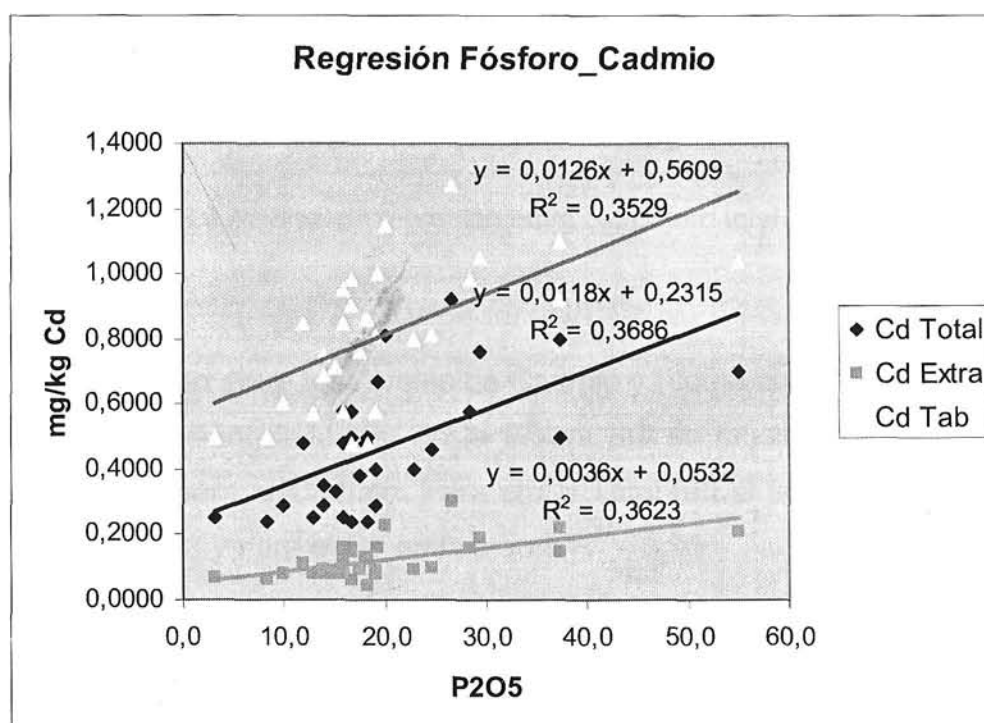


Figura 3.5 Análisis de regresión entre el Fósforo total y el Cadmio

En la Figura 3.6 se muestra el análisis de regresión entre el Fósforo total y el Plomo. También se observa que los coeficientes de regresión son muy bajos.

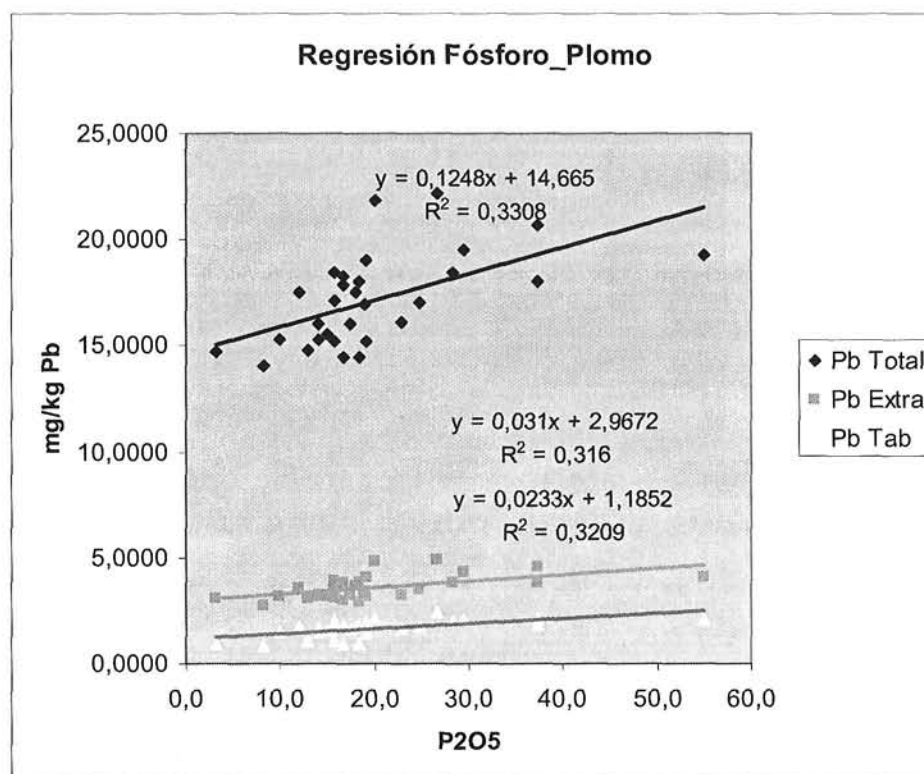


Figura 3.6 Análisis de regresión entre el Fósforo total y el Plomo

El análisis de regresión entre los niveles de Cadmio y Plomo con el Potasio total mostró coeficientes de regresión elevados. En la Figura 3.7 se muestran los coeficientes de regresión obtenidos para el Cadmio. Para el Cd Total (en el suelo), $R^2 = 0,97$, para el Cd extraíble, $R^2 = 0,93$ y para el Cd en la planta $R^2 = 0,95$.

Partiendo de los resultados anteriores, se utilizó la ecuación obtenida para el contenido de Cadmio total en el suelo ($y = 0,0101x + 0,1213$) para hacer un diagnóstico de las áreas estudiadas, utilizando como herramienta el SIG diseñado en el Capítulo anterior. Se obtuvo un mapa temático con los niveles de Cadmio, que permite hacer diagnósticos sobre las áreas de mayor peligro de incrementar los niveles de este elemento por encima de los rangos permitidos para el cultivo.

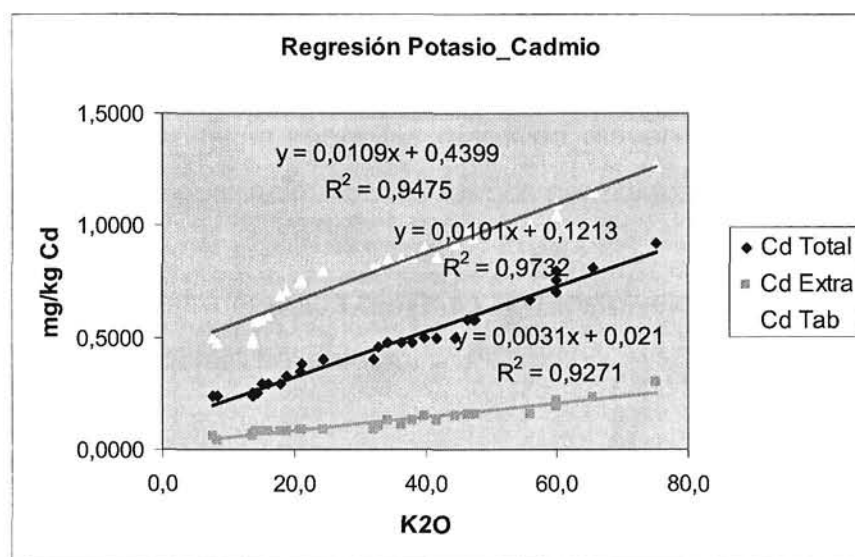


Figura 3.7 Análisis de regresión entre el Potasio total y el Cadmio

En la Figura 3.8 se muestran los coeficientes de regresión obtenidos para el Plomo. Para el Pb Total (en el suelo), $R^2 = 0,97$, para el Pb extraíble, $R^2 = 0,96$ y para el Pb en la planta $R^2 = 0,83$

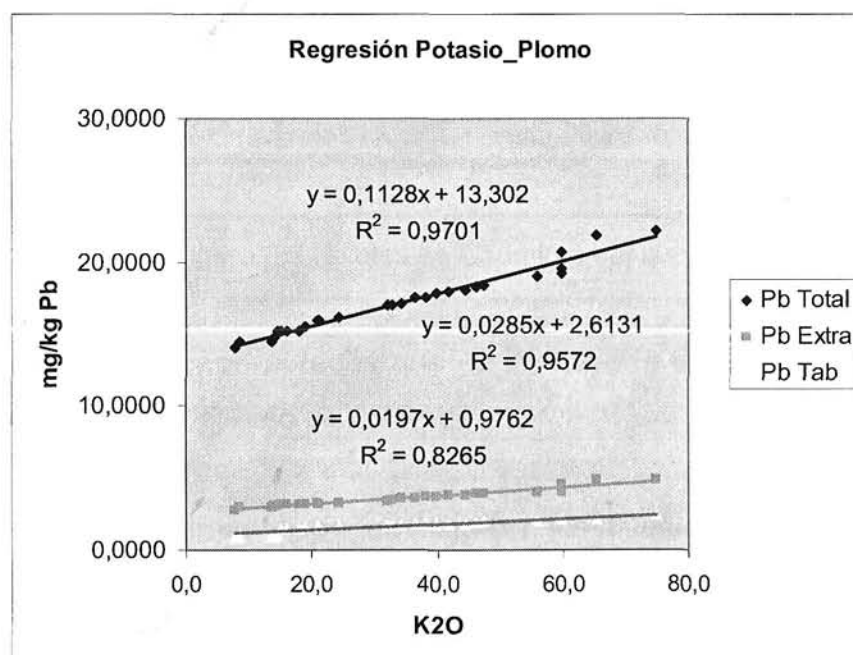


Figura 3.8 Análisis de regresión entre el Potasio total y el Plomo

De igual forma que para el Cadmio, partiendo de los resultados anteriores, se utilizó la ecuación obtenida para el contenido de Plomo total en el suelo ($y = 0,1128x + 13,302$)

para hacer un diagnóstico de las áreas estudiadas, utilizando como herramienta el SIG diseñado en el Capítulo anterior. Se obtuvo un mapa temático con los niveles de Plomo, que permite hacer diagnósticos sobre las áreas de mayor peligro de incrementar los niveles de este elemento por encima de los rangos permitidos para el cultivo.

En la Figura 3.9 se muestra el mapa temático con los niveles de Cadmio en las áreas de las tres cooperativas objeto del estudio.

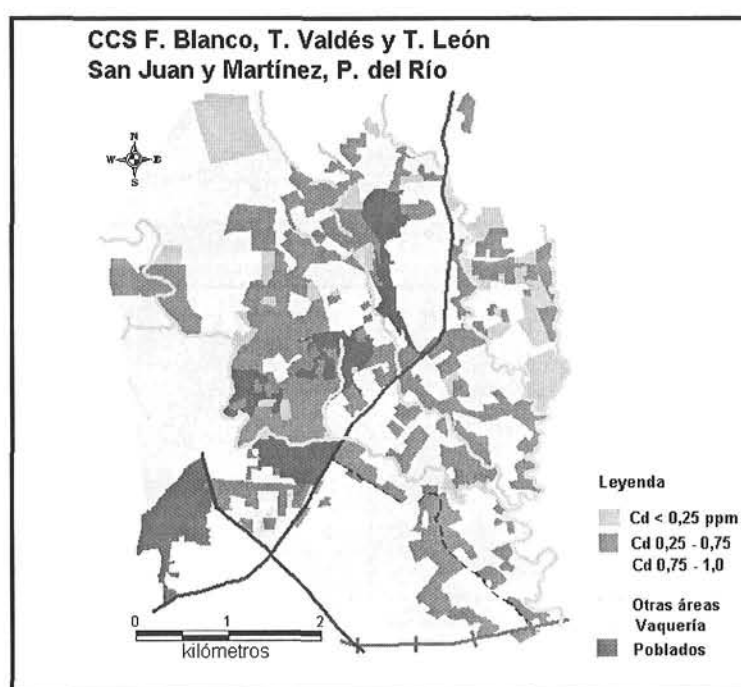


Figura 3.9 Niveles de Cadmio en el suelo

En la figura anterior se puede apreciar que en la mayoría de los casos los niveles de Cadmio se encuentran por debajo de 0,75 ppm.

En la Figura 3.10 se muestra el mapa temático con los niveles de Plomo en las áreas de las tres cooperativas objeto del estudio.

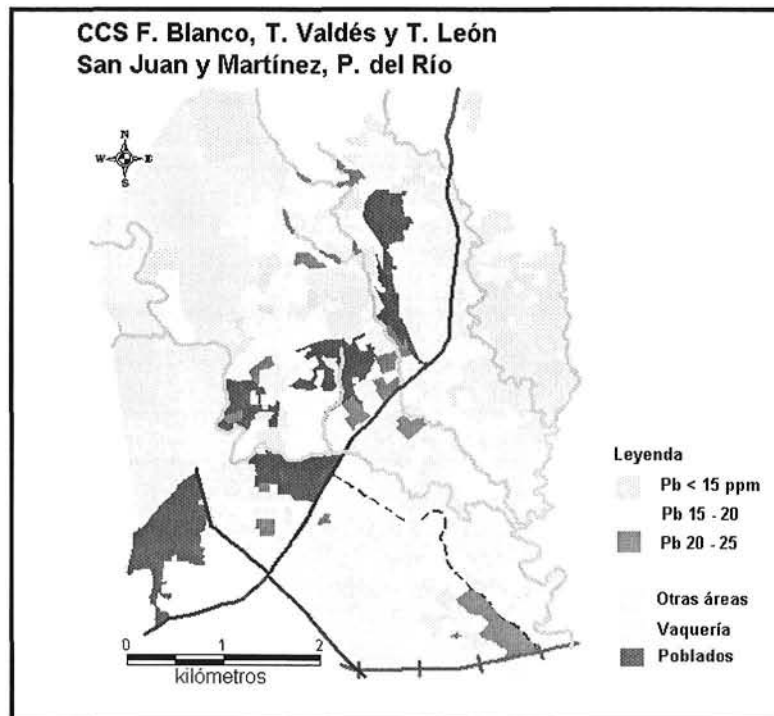


Figura 3.10 Niveles de Plomo en el suelo

En la figura anterior se puede apreciar que en la mayoría de los casos los niveles de Plomo se encuentran por debajo de 20 ppm, cifra que se considera normal y aceptable para suelos dedicados a los cultivos agrícolas.

En la Tabla 3.11 se hace un análisis comparativo de elementos totales en el suelo, biodisponibles por la planta y en la planta (en la hoja de tabaco). Para su mejor comprensión, se muestra el gráfico de barras asociado con esta tabla para los contenidos de Plomo y Cadmio.

Tabla 3.11.- Contenido de micronutrientes y metales pesados en el suelo, biodisponibles y en la hoja de tabaco.

Fracción	CCS	Cu	Mn	Zn	Cd	Pb
SUELO (mg/kg)	FB	12,06b	250,39b	43,4bc	0,45b	17,26a
	TL	10,26bc	225,1b	46,4ab	0,43b	16,52a
	TV	14,85a	314,7a	50,1a	0,52b	17,68a
EN LA DISOLUCIÓN EXTRACTIVA (mg/kg)	FB	6,24de	127,1cd	32,7d	0,13c	3,60b
	TL	8,97c	98,2ef	37,9cd	0,11c	3,43b
	TV	6,20de	153,6c	41,0bc	0,14c	3,73b
TABACO (mg/kg)	FB	4,68e	110,3ef	21,3e	0,80a	1,61c
	TL	6,89d	83,7f	22,9e	0,75a	1,52c
	TV	4,36e	135,0cd	23,8e	0,88a	1,82c
Total	Std. Desv	4,0	85,6	9,0	0,33	7,06
	Std. Error	0,4	9,0	0,9	0,03	0,74

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

En la Tabla anterior se muestran los contenidos de micronutrientes y metales pesados Cobre, Manganeso, Zinc, Cadmio y Plomo. En todos los casos, excepto en el caso del Cadmio, se observa un comportamiento similar, es decir, los contenidos totales en el suelo se diferencian sustancialmente de los contenidos biodisponibles en el suelo y estos a su vez se diferencian de los contenidos en la planta (en la hoja de tabaco). En el caso del Cadmio se observa un comportamiento diferente por cuanto se detectó un contenido mayor en la hoja, lo cual puede estar relacionado en primer lugar por la alta relación Ca/Mg en el suelo y en segundo lugar con la alta afinidad de la planta de tabaco en la absorción y acumulación de Cd en la parte aérea y especialmente en su tercio basal.

El comportamiento diferente de la variedad Criollo 98 con respecto a la asimilación de Cadmio parece estar en correspondencia con los criterios de varios autores, señalados anteriormente en este trabajo, en relación con la capacidad de algunas variedades de tabaco de asimilar cantidades relativamente altas de este metal pesado. Se corrobora la

hipótesis acerca de la capacidad acumuladora de esta variedad de tabaco con relación al elemento Cadmio.

En la Figura 3.11 se muestra el comportamiento del elemento Plomo en las tres cooperativas, teniendo en cuenta los contenidos totales en el suelo, biodisponibles en el suelo y en la planta de tabaco. Un comportamiento similar a este elemento lo presentan los elementos Cobre, Níquel, Manganeso y Zinc, no así en el caso del Cadmio.

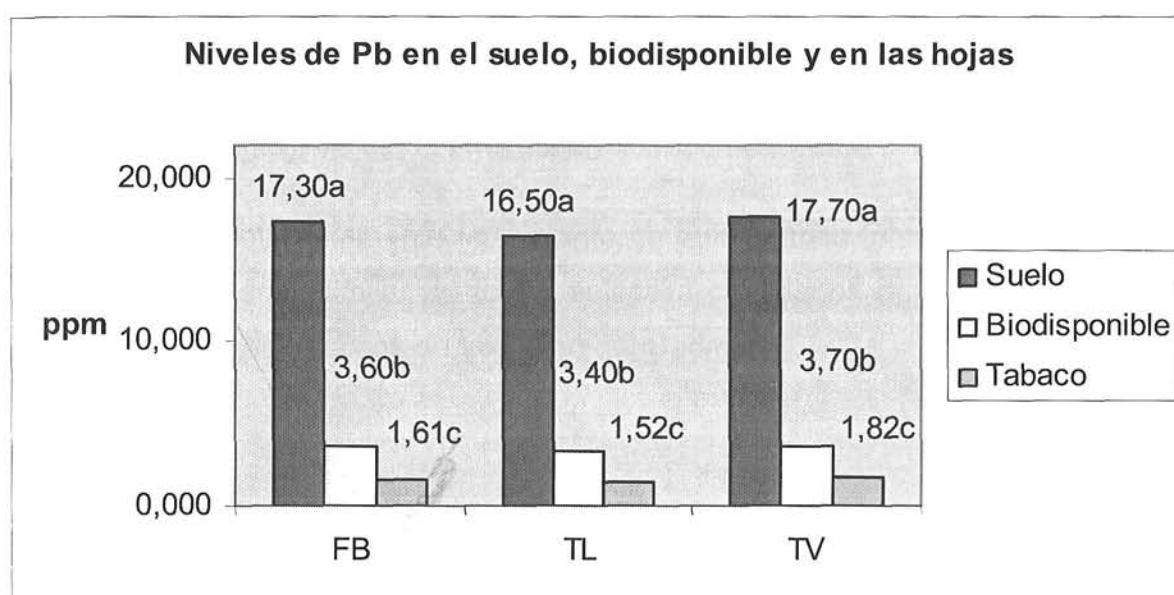


Figura 3.11.- Contenidos de Pb en el suelo, biodisponible y en la planta en las tres CCS

En la Figura 3.12 se muestra el comportamiento del elemento Cadmio en las tres cooperativas. En este gráfico se aprecia lo señalado anteriormente sobre el hecho de que los contenidos de Cd son superiores en la planta, en este caso en las hojas de la planta de tabaco.

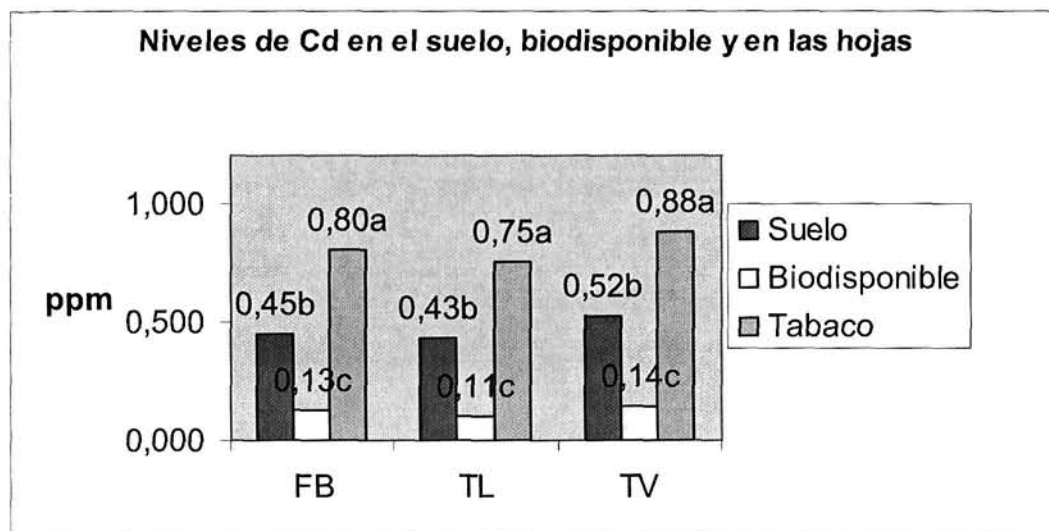


Figura 3.12.- Contenidos de Cd en el suelo, biodisponible y en la planta en las tres CCS

Este resultado resulta altamente interesante, lo que permite inferir las potencialidades de esta especie para asimilar de forma selectiva cantidades apreciables de un metal pesado con las características de toxicidad del Cadmio.

CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD “CRIOLLO 98” EN SUELOS DE TRES COOPERATIVAS DE LA EMPRESA TABACALERA DE SAN JUAN Y MARTÍNEZ, PINAR DEL RÍO

Conclusiones:

1. Las enmiendas realizadas contribuyeron a normalizar los valores de pH en los campos de tabaco hasta valores adecuados para la obtención de producciones de calidad.
2. Los valores de conductividad en los suelos indican rangos aceptables en relación con la salinidad de estos campos al igual que las relaciones internutrientes.
3. Resulta significativo el comportamiento de la variedad “Criollo 98” en cuanto a la asimilación de Cadmio por la planta, lo que refuerza el criterio sobre las posibilidades de esta variedad para ser empleadas en técnicas de fitorremediación.
4. Los niveles de metales pesados en las áreas en estudio, donde se cultiva tabaco, no rebasan las normas establecidas, de manera que las producciones obtenidas pueden considerarse limpias desde el punto de vista ecológico.

CAPÍTULO 4

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD "CRIOLLO 98" EN UN SUELO CONTAMINADO CON Cd Y Pb

INTRODUCCIÓN

Dos elementos importantes se valoraron para desarrollar el experimento que se describe a continuación. Por un lado, la necesidad de evaluar las características fisiológicas y morfológicas más importantes de la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) variedad "Criollo 98" cultivada en un medio contaminado con Cadmio y Plomo, dos metales pesados caracterizados por su elevada toxicidad. De esta manera, se puede evaluar la influencia del suelo y sus características durante el crecimiento y desarrollo de la planta. Por otro lado, y teniendo en cuenta diferentes trabajos en los que se aborda la tendencia de las hojas de tabaco de acumular concentraciones relativamente elevadas de estos metales pesados, resultaba de gran utilidad disponer de una planta que permitiera su utilización para realizar técnicas de Fitorremediación. La Fitorremediación es una técnica que consiste en el empleo de plantas verdes en la remoción de contaminantes del suelo, ya sean de origen orgánico o inorgánicos (Raskin et al., 1997).

Sobre la importancia del suelo, los problemas asociados con la protección de los mismos, el uso de las técnicas de fitorremediación y la utilización de variedades de tabaco para el tratamiento de suelos con elevadas concentraciones de Cadmio y Plomo se amplía a continuación.

La importancia del suelo se ha puesto de manifiesto en los últimos años en las políticas ambientales a nivel mundial, como consecuencia de su consideración como parte integrante de los procesos que se desarrollan en los ecosistemas. El suelo constituye un puente entre la atmósfera y las aguas subterráneas, con lo que cualquier tipo de impacto que incida en él, tendrá repercusiones a corto o mediano plazo en los otros dos

medios. La industrialización, los procesos de depuración industriales, las prácticas agrícolas en ocasiones inadecuadas, han supuesto en las últimas décadas una importante fuente de contaminación en el medio edáfico.

La protección de los suelos se ha integrado recientemente en la Unión Europea como uno de los objetivos prioritarios que influyen en las políticas medioambientales, citando como causa de degradación de los suelos la contaminación puntual como consecuencia de actividades industriales, explotaciones mineras, agricultura y vertido de residuos, proponiéndose la creación del sistema europeo de vigilancia de la conservación del suelo europeo (Lobo Bedmar, 2002).

Con una protección integrada de los suelos pueden obtenerse importantes beneficios en el aire, el agua, la lucha contra el cambio climático y la diversidad biológica.

Se puede definir la contaminación del suelo como la existencia de un agente o conjunto de agentes que provocan una perturbación en el medio o como el proceso o conjunto de procesos que disminuyen la capacidad potencial del suelo para producir bienes. La problemática de la contaminación de los suelos, debe enfocarse como un estudio multidisciplinar, abordado por multitud de especialistas, ya que el suelo debemos considerarlo por un lado como un recurso natural y por otra parte como un importante componente ambiental. El suelo funciona como un sistema abierto y complejo, autoorganizativo, estructural y polifuncional. Se comporta como un filtro a través del cual se regulan los flujos de energía y materia. Como tal filtro es susceptible de contaminarse por medio de los aportes humanos, pudiendo así deteriorarse y dejar de cumplir sus funciones.

La salud del suelo se debe a una serie de atributos físicos, químicos y biológicos, como por ejemplo, el contenido en nutrientes, la capacidad amortiguadora, la capacidad de destrucción de patógenos, la inactivación de compuestos tóxicos, etc. Sin embargo al llevar a cabo un aumento y en ocasiones un malo uso del suelo que conduce a un proceso de contaminación, es muy probable que termine en una fase de mal

funcionamiento o degradación.

En general, los suelos poseen una amplia capacidad amortiguadora frente a una determinada presión, pero si esta capacidad es superada, nos encontraríamos frente a un problema de contaminación.

Los propios constituyentes y propiedades del suelo son capaces de aminorar la contaminación, como por ejemplo: pH, materia orgánica, minerales de la arcilla y óxidos metálicos, reacciones de oxidación-reducción, procesos de intercambio iónico, fenómenos de adsorción, desorción, complejación y reacciones de precipitación y disolución

En general, los contaminantes que se encuentran en el suelo son: metales pesados, contaminantes orgánicos y exceso de sales. En general, las actividades que pueden dar origen a la contaminación pueden ser debidas a focos puntuales o focos difusos. Los focos puntuales se derivan en su mayor parte de la industria y sus actividades asociadas. Entre los focos difusos se señala la agricultura. En este medio, las actividades se realizan directamente sobre el suelo, por lo que en este sector la contaminación se asocia fundamentalmente al uso incorrecto de fertilizantes y biocidas. Por otra parte, la agricultura intensiva está asociada a la pérdida de cobertura vegetal y materia orgánica del suelo, lo que supone la incidencia de los procesos de erosión y pérdidas de suelo, a lo que se añade el peligro de compactación causado por la maquinaria agrícola, la sobreexplotación de acuíferos debida al regadío y la acumulación de metales pesados debidos al uso de fertilizantes.

La asimilación de los metales pesados por las plantas depende de varios factores que inciden en el suelo y en la planta. Los factores principales del suelo son: El contenido del metal pesado en el suelo, las condiciones redox, la materia orgánica, y el pH. Entre los factores de la planta que afectan la asimilación de los metales pesados, el genotipo se considera el más importante.

El Cd y el Pb son elementos no esenciales, tóxicos para las plantas y los animales. Se sabe que solo una cantidad pequeña del Pb total del suelo puede ser tomado por las plantas y el desplazamiento del Pb de las raíces a las partes superiores es limitado. El Cd y el Zn pueden ser más rápidamente tomados por las plantas, pudiéndose encontrar concentraciones relativamente altas de estos elementos durante las cosechas.

El Cadmio es absorbido por las plantas a través de las raíces y después se transporta por los tejidos del tallo y de la hoja (Salt et al., 1995) donde es finalmente secuestrado dentro de la vacuola (Vogeli-Lange y Wagner, 1990). La absorción del Cadmio por la planta inhibe la biosíntesis de la clorofila (Stobart et al., 1985) y el desarrollo del cloroplasto (Barceló et al., 1988; Baszynski et al., 1980; Ghoshroy y Nadakavukaren, 1990).

Diferentes trabajos revelan la capacidad de la planta de tabaco para acumular cantidades significativas de algunos de los metales pesados más importantes, considerando sus elevados niveles de toxicidad.

Las plantas del tabaco tienen una capacidad específica, inusualmente alta, de absorber el Cd del suelo y acumularlo en las raíces y en las hojas. Esta capacidad es significativamente diferente entre las diferentes variedades de tabaco. Por ejemplo, la *N. rustica* y la *N. rutifolia* acumulan bajas cantidades en las hojas, mientras que su capacidad de acumular en la raíz es alta, sin embargo se encontró que la variedad *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora tanto en las hojas como en la raíz (Wagner, 1986).

En la planta del tabaco, la concentración del elemento varía a lo largo del tallo. El mayor contenido se encuentra en las hojas viejas, con respecto a las hojas superiores, más jóvenes, lo que sugiere una deposición gradual con el tiempo (Semu and Singh, 1996; Angelova, 2004).

Un estudio realizado en las proximidades de una mina de Plomo y Zinc en Corea del

Sur demostró que los niveles de Cd, Cu, Pb y Zn son generalmente más altos en el tabaco y la soja que en la cebolla, la pimienta roja y el grano de maíz. Los factores que mayor incidencia tienen en la biodisponibilidad de los metales en suelos y la asimilación por los cultivos fueron examinados, incluyendo la concentración total del metal en el suelo, el pH del suelo, la capacidad del intercambio catiónico, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo y la interacción entre los elementos determinados. Se concluye que las concentraciones totales del metal en suelo y el pH son los factores principales que determinan el contenido del metal en plantas (Myung, et al. 1996).

Teniendo en cuenta que el tabaco asimila el Cadmio del suelo, se ha propuesto un procedimiento para disminuir esta tendencia, que consiste en la introducción de un gene citosólico de la cisterna sintetasa procedente del arroz (*Oryza sativa*), en las plantas de tabaco, lo que provoca un incremento en la producción de los compuestos con sulfuro que desintoxican el cadmio, y además, la eliminación activa de la toxicidad del cadmio del cuerpo de la planta (Harada, E.; et al.; 2001).

La asimilación del Cd^{2+} , aplicado en las raíces de plantas de semillero de tabaco, en forma de Cloruro de Cadmio fue estudiado por Gichner, T.; et al. (2004). El método analítico empleado fue la Espectroscopia de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente (EE-ICP). El análisis de la acumulación del cadmio demuestra que las raíces acumulan el doble de este elemento, con respecto a las partes superiores de las plantas de semillero. Esto puede explicar la ausencia de la genotoxicidad de Cd^{2+} en las hojas de las plantas. Este resultado coincide con lo planteado por Rengasamy Boominathan, et al.; (2003), los que plantean que la mayor parte del Cd se acumula en la pared celular de la raíz de la planta de tabaco.

El cadmio plantea una amenaza importante para la salud ambiental y humana debido a su constante crecimiento por la actividad del hombre. Existe por lo tanto, una necesidad de establecer procedimientos rentables de la remediación para estos metales pesados.

La Fitorremediación se define como el uso de plantas verdes en la remoción de

contaminantes del ambiente (Raskin et al., 1997). En contraste con otras tecnologías, es poco costosa, estéticamente agradable y requiere de pocos recursos (Glass, 1999). Ofrece la gran ventaja de causar pocas afectaciones al medio, no alterando la matriz del suelo, de manera que después de un proceso de fitorremediación, el suelo puede ser empleado directamente para la siembra de algún cultivo agrícola. Los metales pesados tóxicos y los contaminantes orgánicos son objeto de la fitorremediación.

Salt et al. (1998) estableció los siguientes subgrupos en esta tecnología:

- Fitoextracción: Extracción de los contaminantes por las plantas.
- Fitodegradación: Plantas asociadas con microorganismos para degradar contaminantes orgánicos.
- Rizofiltración: Se utilizan las raíces de las plantas para extraer los contaminantes, fundamentalmente los metales.
- Fitoestabilización: Las plantas reducen la biodisponibilidad de contaminantes en el ambiente.
- Fitovolatilización: El uso de plantas que volatilizan ciertos contaminantes.

Todas las plantas tienen un potencial para extraer metales del suelo, pero algunas plantas muestran una habilidad para extraer, acumular y tolerar altos niveles de metales pesados, los cuales pueden resultar tóxicos para otros organismos. Tales plantas son denominadas hiperacumuladoras.

Las plantas hiperacumuladoras están extendidas por todo el reino vegetal. La hiperacumulación de metales es una adaptación ecofisiológica a suelos con altos contenidos de metales (Maywald and Weigel, 1997). Este mecanismo no es bien conocido todavía, pero experimentos realizados apoyan la hipótesis de que el trabajo de hiperacumulación es un mecanismo de defensa contra plantas patógenas (Boyd et al., 1994), además de prevenir a los depredadores (Sagner et al., 1998). Sin embargo, el potencial para la aplicación de plantas hiperacumuladoras en la biorremediación es limitado por un grupo de factores.

En general estas plantas acumulan solamente un elemento específico y no son aplicables para múltiples elementos. Por ejemplo, es muy conocida la planta *Thlaspi caerulescens*, la cual es dividida en dos especies: hiperacumuladora de Zn e hiperacumuladora de Cd. La especie hiperacumuladora de cadmio tiene una gran habilidad para acumular este elemento en sus partes aéreas llegando a determinarse hasta 3000 mg/kg de este metal (Schwartz et al., 2003).

De acuerdo con Brown et al. (1995) una especie hiperacumuladora de Cadmio será aquella cuyas plantas puedan acumular en sus hojas mas de 100 mg/kg de este elemento.

Otro elemento a tener en cuenta es que la mayoría de las plantas hiperacumuladoras crecen lentamente y su biomasa es pequeña. Robinson et al. (2000) sugiere que una planta para que pueda ser utilizada en técnicas de biorremediación debe ser de rápido crecimiento, bien enraizada, de fácil propagación y que acumule cantidades crecientes del metal tóxico. Según Romkens et al. (2002) también debe tener una alta producción de biomasa. Todos los factores analizados anteriormente tienen un óptimo comportamiento en la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum*).

El uso de técnicas de fitorremediación incluye la utilización de aditivos que inmovilizan los metales en el suelo. Las plantas adecuadas para llevar a cabo acciones de este tipo deben cumplir algunas características como tolerancia al metal que haya que eliminar, que la acumulación se produzca fundamentalmente en la parte aérea de la planta, que presenten rápido crecimiento y alta producción de biomasa en la parte aérea (Robinson et al. 2000; Romkens et al. 2002).

La aplicación de ácido húmico en un suelo cadmio-contaminado en varias dosificaciones, y la asimilación del cadmio por la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* SR-1) fue determinado en lo referente a las cantidades de cadmio total y biodisponible en el suelo. Se determinó que la biodisponibilidad teórica del cadmio, según lo determinado por la extracción con ácido diethylenetriamino-pentaacético (DTPA), no

cambió, pero su asimilación por la planta fue incrementado perceptiblemente, en algunos casos hasta el 65% (Evangelou, et al.; 2004).

No solo la planta de tabaco ha sido estudiada para fines de la fitorremediación. La acumulación de Pb, Zn, Cu y Cd por 12 especies de plantas, entre las que se encuentran *Leersia hexandra*, *Juncus effusus* y *Equisetum ramosist*, que prosperan en sitios metal-contaminados en China fueron estudiadas. Los resultados demostraron que la acumulación del metal por las plantas fue diferente entre especie, poblaciones y tejidos. Los metales acumulados por las plantas fueron distribuidos sobre todo en los tejidos de la raíz, sugiriendo la existencia de una marcada estrategia de exclusión y tolerancia del metal. Algunas especies y poblaciones pueden acumular concentraciones relativamente altas del metal, lo que indica que el mecanismo o mecanismos internos de tolerancia del metal están presentes. Los factores que afectan la acumulación del metal por las plantas incluyen: La concentración del metal, el pH, y el estado nutritivo en el sustrato. El uso potencial de estas plantas en procesos de fitorremediación es aceptado (Deng, H.; et al. 2004).

Se estudió un arbusto de la familia del tabaco, *Nicotiana glauca* R. Esta planta fue seleccionada para inducirle una modificación biotecnológica, porque demostró características apropiadas para ser utilizada para la fitorremediación, tiene una distribución geográfica amplia, es de crecimiento rápido con una biomasa alta, y es repulsiva a los herbívoros. En esta planta en particular, aumentó grandemente su tolerancia a metales tales como Pb y Cd. Estos resultados indicaron que la *Nicotiana glauca* R. representa una herramienta nueva, altamente prometedora, para el uso en la fitorremediación (Gisbert, C.; et al. 2003).

El tabaco tiene una capacidad excepcional de acumular Pb, Cd, y Zn cuando se cultiva en condiciones de elevada exposición de estos metales pesados, mientras que en condiciones normales de exposición, la planta de tabaco se comporta, al parecer, de forma similar a otras especies. La mayor parte del Pb, del Cd, y del Zn fue acumulada en las partes aéreas de la planta, principalmente en las hojas. Los datos experimentales obtenidos para la presencia del Pb, del Cd, y del Zn en las diversas partes de las

plantas de tabaco crecidas en una región industrial contaminada demostraron que sus cantidades procedían fundamentalmente de los aerosoles que contenían metales pesados que caían de la atmósfera y que eran absorbidos por las hojas. Parte de ellos, sin embargo, al llegar al suelo, penetran en la planta a través del sistema radical y son acumulados en sus partes aéreas (Angelova, V.; et al.; 2004).

La acumulación de Zn, Cd y Pb en *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) en la vecindad de una mina de Plomo en Eslovenia fue estudiada. El 80% de Pb fue acumulado en las raíces. Este es el primer informe sobre el efecto de hiperacumulación de Cd en *Thlaspi praecox* Wulf (Brassicaceae) (Katarina Vogel-Mikuš, et al.; 2005).

La influencia de la minoriza arbuscular (AM) en el crecimiento y la asimilación de Cd en tabaco transgénico y no transgénico fue estudiado por Janoušková, M.; et al. (2005). En este artículo, los autores se refieren a la capacidad creciente del tabaco para acumular Cadmio en las hojas, comportamiento que puede ser cambiado al introducir una variedad modificada genéticamente.

El tabaco puede acumular el cadmio y la reducción del contenido del cadmio puede reducir los peligros para la salud de los fumadores. El pH del suelo y la fertilización nitrogenada son dos de los factores más importantes que afectan la asimilación de Cd por el tabaco. Esta hipótesis fue probada en un suelo ácido en Grecia nortea por un experimento de campo de cuatro años. La variabilidad de la asimilación de Cd por el tabaco Virginia fue atribuida a la variación de la disponibilidad del Cd, según lo afectado por el pH del suelo. Al aplicar 3 T/ha de cal se producía un incremento de 0,8 unidades de pH, provocando una disminución del Cd extraído con DPTA del suelo y de las hojas de un 40% y 35%, respectivamente. La fertilización nitrogenada producía el efecto contrario, pero más débil. La aplicación de cal y la fertilización nitrogenada contribuyen considerablemente, en el tabaco de Virginia, a una gran reducción del Cd extraído del suelo después de tres años de cultivo continuado (Tsadilas, C.D.; et al.; 2005).

Teniendo en cuenta todos los elementos expuestos anteriormente, se diseñó y realizó un experimento, cuyo objetivo fundamental era estudiar el comportamiento de la planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, variedad "Criollo 98", en un suelo contaminado con Cadmio y Plomo. Esta variedad es ampliamente utilizada en la Provincia, tanto en cultivo de sol como en tapado por su excelente calidad de la hoja y aceptables rendimientos en la producción.

Materiales y métodos.

Condiciones experimentales. Ubicación geográfica.

El experimento se realizó en áreas del Instituto Politécnico de Agronomía "Tranquilino Sandalio de Noda", ubicado en el Km 8 ½ de la carretera a Pinar del Río-La Coloma, en la provincia de Pinar del Río, a una altura de 26,25 m sobre el nivel del mar a los 281, 600 Km al norte y 224,100 Km al este del sistema de coordenadas planas "Cuba Norte de ICGS".

Características del suelo.

El suelo según la clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández et al., 1975), pertenece al agrupamiento aluvial, tipo aluvial, material basal, materiales transportados arcillosos generalmente, especie medianamente profunda, textura Loam arenoso. Teniendo en cuenta la nueva versión de la clasificación genética pertenece al agrupamiento fluvisol. (Hernández, 1994).

Para obtener una mejor caracterización del suelo, se efectuó un estudio de las propiedades químicas y físico químicas, al inicio de la investigación (Tabla 4.1).

Tabla 4.1.- Características del suelo antes de las aplicaciones.

pH KCl	mg/100g de suelo.		% de Cl ⁻	% de M.O	cmoles/Kg de suelo						
	P ₂ O ₅	K ₂ O			Ca	Mg	Na	K	S*	T*	V*
5,4	16,5	18,4	0.03	1,5	3,87	0,73	0,03	0,17	4,80	5,8	82,8

S* (Suma de cationes de cambio o suma de bases)

T* (Capacidad de cambio catiónico)

V* (Porcentaje de saturación de bases)

Como se observa en la Tabla 4.1, las características del suelo son similares a otros suelos utilizados en el cultivo del tabaco. Según la F.A.O. (1983), las proporciones ideales de los cationes, respecto a T, son las siguientes: Calcio: 60-80% de T, Magnesio: 10-20% de T, Potasio: 2-6% de T y Sodio de 0-3% de T (Sánchez, 1993). En este caso se obtiene una relación Ca^{2+}/T igual a 66,70%, para el Magnesio la relación

es igual a 12,60%, para el Potasio la relación es de 2,90% y para el sodio 0,50%. Lo expuesto anteriormente confirma que las características del suelo utilizado se corresponden con las de este tipo de suelo para el cultivo del tabaco.

Otra muestra del área experimental fue analizada, utilizando el método analítico de Espectroscopia de Emisión con Plasma Acoplado Inductivamente, con el objetivo principal de caracterizar el suelo del experimento en función del contenido inicial de Cadmio y Plomo presente. Estos resultados se aprecian en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Caracterización del suelo del experimento en función del contenido de Cadmio y Plomo y otros nutrientes esenciales.

Elemto	%					mg/kg suelo						
	K	Ca	Mg	P	Fe	B	Cu	Ni	Mn	Zn	Cd	Pb
Media	0,14	0,175	0,06	0,03	0,84	1,25	12,75	4,13	223,8	23,5	0,38	17,38
Error std	0,028	0,005	0,009	0,003	0,04	-	0,25	0,37	6,2	1,5	0,12	1,87
Desv std	0,04	0,007	0,013	0,004	0,057	-	0,35	0,53	8,8	2,12	0,18	2,65

Al comparar los resultados obtenidos para los elementos K, Ca, Mg y P con los obtenidos en la tabla anterior, y haciendo las transformaciones de unidades correspondientes, se encuentra que los resultados de la Tabla 4.1 son ligeramente inferiores, lo que es debido a que los resultados del análisis de emisión se corresponde con contenidos totales del elemento en la muestra.

Características del área utilizada.

El área experimental ocupó 114 m², en la cual se plantó la variedad criollo 98 con un marco de plantación de 0.76x0.25 m, esta área estaba dividida en 12 parcelas de 2.50 m de largo por 3.8 m de ancho (9,50 m²), cada parcela contaba con 5 surcos y 10 plantas, para un total de 50 plantas por parcela. De cada parcela se muestrearon 10 plantas.

Plantación, riego y fertilización.

La plantación se realizó el día 23 de enero de 2003. El riego y la fertilización se

realizaron de acuerdo con el instructivo técnico.

Los tratamientos se codificaron utilizando la siguiente simbología:

T1 Para el testigo en cada una de las parcelas estudiadas (3), A, B, C.

T2 Para tratamientos con cadmio en cada una de las parcelas estudiadas (3), A, B, C.

T3 Para tratamientos con plomo en cada una de las parcelas estudiadas (3), A, B, C.

T4 Para tratamientos con cadmio y plomo en cada una de las parcelas (3), A, B, C.

Para cada uno de los tratamientos se utilizaron dosis de 0.50 Kg./ha del elemento activo, dividido en 2 aplicaciones, en cada uno de los momentos de fertilización seguido del riego. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra y la segunda aplicación 21 días después de la primera aplicación.

Los portadores utilizados fueron el $\text{PbAc}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y CdSO_4 . Se le adicionó EDTA, formando así portadores en forma de quelato”.

Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con 4 tratamientos y 3 réplicas.

Características físicas del suelo utilizado.

La metodología utilizada para la caracterización física de los suelos fue la planteada por Alonso y Cabrera (1987).

Densidad real. (g/cm^3).

Para su determinación se utilizó el método del picnómetro con agua para suelo, que es la que da los mejores resultados (Terés et al., 1993).

Densidad aparente. (g/cm^3).

El método más utilizado para determinar la densidad aparente compactada (d_a) es el método del cilindro cortante, calculándose a través de la expresión.

$$da = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Donde:

m = masa del suelo seco

v = Volumen del cilindro en cm^3 .

Porosidad (%).

Para el cálculo de la porosidad se utilizó la siguiente fórmula.

$$P = 100 \left(1 - \frac{da}{dr} \right) = \% \quad (2)$$

Donde :

da = densidad aparente (cm^3).

dr = densidad real (cm^3).

Metodología utilizada para la caracterización química del suelo.

Los análisis químicos y físico-químicos del suelo, fueron realizados en el Laboratorio de suelos del MINAGRI y en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Pinar del Río.

Las técnicas utilizadas fueron:

pH: Potenciometría.

Materia orgánica (MO): Incineración.

Humedad higroscópica (Hy): (Gravimetría)

Ca^{2+} y Mg^{2+} : Complexometría.

K^+ y Na^+ : Fotometría de llama.

P_2O_5 : Colorimetría.

Nitrógeno: Destilación con Kjeldahl

Todos estos análisis se realizaron aplicando las metodologías establecidas por MINAGRI (1994) y Ansorena (1994).

Estudio de las características morfológicas de las plantas.

Determinación de los parámetros morfológicos. Altura.

A los 26 días de plantadas las posturas se comenzaron a realizar las mediciones (18/02/03) de altura a 10 plantas de cada tratamiento, tomadas de forma aleatoria realizándose cada 7 días y hasta los 70 días (3/04/03). Esta se midió desde la superficie del suelo hasta el extremo de la yema apical.

Diámetro del cuello de la raíz (DCR).

Para medir el diámetro se utilizó un pie de Rey con un error de 0.05 mm.

Masa seca aérea (MSA), Masa seca radical (MSR), Masa seca total (MST).

La masa seca aérea es la masa del tallo más la masa seca de las hojas. La masa seca total comprende la masa seca aérea más la masa seca de la raíz. Las masas se obtuvieron en el laboratorio de conservación de suelo con una balanza analítica de error de 0.1 mg. Para el secado de las muestras se utilizó la estufa, a 75°C, inicialmente por una hora y después a 45°C por 48 horas hasta peso constante.

Área foliar. (cm²).

La determinación del área foliar se realizó utilizando el método gravimétrico y aplicando la siguiente fórmula:

$$Af = \frac{1dm^2 * Pf}{Pp} \quad (3)$$

Donde:

Pf = Peso de la forma de la hoja (g).

Pp = peso del decímetro cuadrado (g).

Índices morfológicos.

Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR).

Es la producción de materia seca concentrada en las raíces respecto al total de la planta, se determina:

$$PA/PR = \left(\frac{\text{masa_seca_del_tallo} + \text{masa_seca_de_la_hoja}}{\text{masa_seca_de_la_raíz}} \right)$$

Estado nutritivo de las plantas.

Análisis foliar.

La toma de la muestra foliar se realizó seleccionando todas las hojas de 15 plantas. Esas hojas fueron lavadas y secadas en la estufa a una temperatura de 75°C, posteriormente fueron maceradas y pasadas por un tamiz de 0.5 mm, envasadas, y se llevaron a los laboratorios del MINAGRI. Se les determinó macronutrientes primarios y secundarios: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio. Se realizaron análisis de macro y micronutrientes en los laboratorios de La Universidad de Alicante en España y en la Empresa Central de Laboratorios "JOSÉ ISAAC DEL CORRAL" en Ciudad de la Habana.

Índices del crecimiento.

Tasa de asimilación neta (TAN) ($\text{g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}$).

La (TAN) es la producción de la materia seca determinada por el balance entre la fotosíntesis y la respiración, que cuantifica la biomasa producida por la superficie fotosintetizadora por unidad de tiempo, utilizando la siguiente ecuación:

$$TAN = \frac{2(P_2 - P_1)}{(A_1 + A_2)(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Peso seco medio.

A_1 y A_2 = Área foliar media.

t_1 y t_2 = Fechas en que se realizaron las determinaciones de área foliar.

Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico

SPSS para Windows Versión 10 de diciembre 2001 (SPSS 10.0). Se ha utilizado el Análisis de Componentes Principales con el objeto de estudiar las relaciones entre los metales y los parámetros edáficos, confirmando o no por caminos diferentes los resultados encontrados en el estudio de las correlaciones. En el Análisis de Componentes Principales el objetivo final es reducir la dimensionalidad de la tabla de datos concentrando la información en el menor número de variables o factores que se obtienen como combinación lineal de las variables iniciales y se retienen aquellas que explican una mayor varianza.

Se ha utilizado la correlación de Pearson y Spearman, teniendo en cuenta las correlaciones significativas (con significación superior al 95%). Se han correlacionado los contenidos de metales pesados entre sí y con los parámetros edáficos para todos los suelos estudiados.

Se realizaron diferentes análisis para el estudio del comportamiento del cultivo en diferentes tratamientos con cadmio, plomo y cadmio-plomo. Se realizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y la comparación utilizando el método de Student-Newman-Keuls (SNK) para todas las variables, las cuales no cumplieron con una distribución normal. También se realizaron pruebas de comparación por Duncan.

Resultados y discusión.

Análisis de la caracterización química del suelo de las parcelas de cada uno de los tratamientos.

Una vez concluido la recolección del tabaco, se procedió a tomar una muestra de suelo de cada tratamiento con vistas a establecer las diferencias y similitudes en función de la aplicación de cantidades controladas de Cd y Pb. Se reportan las medias de las tres réplicas. Estos resultados pueden apreciarse en la Tabla 4.3

Tabla No 4.3.- Caracterización química del suelo (post-cosecha) de las parcelas de cada uno de los tratamientos.

Trata- mientos	pH KCl	mg/100g de suelo.		% de M.O	cmol/Kg de suelo						
		P ₂ O ₅	K ₂ O		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	V
Testigo	4.6	17.5	20.0	1.5	3.87	0.73	0.03	0.17	4.80	5.8	82.7
Cd	4.8	17.0	18.0	1.4	3.15	0.73	0.03	0.16	4.07	4.5	90.4
Pb	4.7	16.5	17.6	1.3	2.82	0.72	0.02	0.16	3.72	4.3	86.5
Cd+Pb	4.8	17.3	17.3	1.3	2.36	0.71	0.03	0.16	3.26	4.1	79.5
E. Std	0.05	0.22	0.61	0.05	0.32	0.005	0.003	0.003	0.33	0.38	2.36
D. Std	0.10	0.44	1.22	0.10	0.64	0.01	0.005	0.005	0.65	0.77	4.72

S* (Suma de cationes de cambio o suma de bases)

T* (Capacidad de cambio catiónico)

V* (Porcentaje de saturación de bases)

En la Tabla 4.3 se observa una disminución del pH, con respecto a los valores iniciales que se mostraron en la Tabla 4.1, lo que puede estar dado por el lavado de las bases (Cairo, 1994), propiciado por los riegos realizados, las precipitaciones caídas y a las características del suelo (Loam arenoso), con valores altos de porosidad, aspectos que favorecen el proceso de lavado de las bases.

El contenido de P_2O_5 y K_2O en el suelo aumentó debido a la fertilización (fórmula completa) realizada al cultivo durante su desarrollo. El contenido de materia orgánica permanece prácticamente constante durante todo el experimento.

Análisis de la caracterización física del suelo de las parcelas de cada uno de los tratamientos, una vez cosechado el tabaco.

Como se observa en la Tabla 4.4, el mayor porcentaje de partículas está en un rango de 2 a 0,02 mm en todos los tratamientos. El tratamiento testigo, con un 81% de partículas en este rango supera ligeramente a los demás, no existiendo marcadas diferencias entre los tratamientos. Esto se corresponde con lo planteado por MINAGRI (1984) para los suelos Ferralíticos Cuarcíticos Amarillos, en los que el rango de partículas predominante se encuentra entre 2 y 0,02 mm. Los valores de densidad real (d_r), densidad aparente (d_a), porosidad y tamaño de las partículas no variaron significativamente con los tratamientos realizados (Tabla 4.4).

Tabla 4.4.- Caracterización física del suelo de las parcelas de cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	g/cm ³		Porosidad (%)	Tamaño de las partículas (mm).		
	d.a	d.r		Arena 2-0,02 mm	Limo 0,02-0,002 mm	Arcilla < 0,002 mm
Testigo	1.1	2.5	60	81	7.6	11.4
Cd	1.1	2.6	60	79	5.6	15.4
Pb	1.1	2.7	60	77	7.6	15.4
Cd+Pb	1.0	2.4	58	77	7.6	15.4

Análisis de las características morfológicas de la planta.

Altura de las plantas.

El análisis estadístico realizado no arrojó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos con respecto a la variable altura a los 70 días. La desviación estándar alcanza un valor de 10,66, lo que contribuye a que, a pesar de existir ciertas diferencias en la altura, con respecto a los tratamientos, estas no sean significativas (Tabla 4.5). Estos resultados coinciden con trabajos de varios autores, donde se plantea que la planta de tabaco puede desarrollarse en un suelo contaminado por Cadmio y Plomo, y no mostrar síntomas visuales de toxicidad.

Tabla 4.5.- Indicadores morfológicos y fisiológicos de la planta.

Tratamiento	Testigo	Cd	Pb	Cd+Pb	Error std	Desv. std
Altura (cm)	93.43a	93.60a	87.97a	89.97a	0.97	10.66
DCR (mm)	19.42a	19.65a	20.03a	19.00a	0.16	1.76
Área foliar (cm ²)	239.2a	178.8b	155.3c	155.1c	4.19	45.93
Masa seca de las hojas	42.7a	43.2a	26.5c	33.0b	0.77	8.43
Masa seca del tallo	28.9b	34.1a	22.1c	21.7c	0.50	5.52
Masa seca de la raíz	16.8b	26.1a	9.9d	12.5c	0.59	6.43

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

Diámetro del cuello de la raíz

El análisis estadístico realizado al comportamiento del diámetro en el cuello de la raíz (DCR), tal y como se aprecia en la Tabla 4.5, no arrojó diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, obteniéndose un comportamiento similar a la variable altura.

Área Foliar

En la Tabla 4.5 se muestra el comportamiento del área foliar con respecto a los diferentes tratamientos. Se observan diferencias significativas entre los tratamientos. La mayor reducción se presenta en los tratamientos en los que se incluye al Plomo, aunque también el área foliar disminuye significativamente en el tratamiento con Cadmio. Se aprecia una influencia muy marcada del elemento Plomo en el desarrollo del área foliar, influencia que es muy superior a la que produce la presencia del elemento Cadmio. Se conoce que el Plomo puede provocar cierta inhibición del desarrollo del área foliar debido a que puede producir toxicidad a nivel celular, y esta toxicidad contribuye a la inhibición de la actividad enzimática (Williams, 2000). Este autor se refiere al efecto tóxico del Plomo asociado a la disminución del área foliar y afectaciones en el sistema radical de la planta. Aunque se conoce de la elevada toxicidad del Cadmio, es conocido también la afinidad de la planta de tabaco por este elemento, lo que pudiera estar indicando que se requiere de niveles mas elevados de este elemento para producir afectaciones más severas en los diferentes parámetros de la planta.

La disminución del área foliar puede estar relacionada con el efecto de los metales pesados tales como el Cadmio y el Plomo, en la actividad de las auxina-oxidasas, lo que provoca un menor crecimiento de las células y por tanto una disminución del área foliar. (Chowdhury, B.A.; Chandra, R. K; 1987). En altas concentraciones, estos metales pueden llegar a ser extremadamente tóxicos, causando síntomas tales como clorosis y necrosis, decoloración de la hoja y la inhibición del crecimiento de la raíz (Marschner, 1995; VanAssche, 1990). En el nivel celular, la toxicidad puede resultar de unir a los grupos sulfidrilos en las proteínas de tal modo que inhiben actividad enzimática o la función de la proteína, o produciendo un deficiencia de otros iones esenciales (VanAssche, 1990; Meharg, 1994). Otras posibilidades incluyen la interrupción de los procesos y del daño oxidativo del transporte de la célula. Así los sistemas disponibles para la adquisición de los iones del metal por las raíces, el transporte y la distribución alrededor de la planta, y la regulación de sus concentraciones citosólicas son claramente integrales al crecimiento vegetal y al desarrollo normal (Day, et al.; 2003).

Masa seca de la hoja

Como se puede observar en la Tabla 4.5, en la producción de masa seca de las hojas se observan diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos con Plomo y combinado, lo que se corresponde con la disminución del área foliar de las mismas.

Resulta significativo el hecho de que no existan diferencias significativas entre la masa seca del testigo y la masa seca del tratamiento con Cadmio. Como se apreciará mas adelante, el Cadmio se acumula fundamentalmente en la hoja, específicamente en el primer corte o libra de pie. Esto parece indicar que este elemento participa o inhibe algunas reacciones fisiológicas de la planta. Esto puede estar dado por las características del Cadmio, similares al Zinc y a otros microelementos que sí tienen una probada participación en diferentes procesos fisiológicos que ocurren en la planta.

Se debe observar que este comportamiento se repite para la masa seca del tallo y la masa seca de la raíz, lo que indica que el Cadmio parece favorecer la producción de masa seca, aunque de forma indirecta, impidiendo la presencia de hongos y bacterias que afectan a la planta (Soumitra et al., 1998).

Masa seca del tallo

Con respecto a la masa seca del tallo se aprecia que existen diferencias significativas entre el Testigo y el tratamiento con Cadmio. Se observa un incremento apreciable de la masa seca del tallo en el tratamiento con Cadmio, con respecto al testigo, comportamiento que se repite en el caso de la masa seca de la raíz. No se aprecian diferencias significativas entre si, en los tratamientos con Plomo y combinados, pero estos difieren significativamente con el testigo y con el tratamiento con Cadmio, lo que nuevamente parece indicar la influencia del Cadmio en la producción de masa seca.

Masa seca de la raíz

En el caso de la masa seca de la raíz, se produce un comportamiento similar al comportamiento de la masa seca del tallo. Existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, resaltando el hecho de que en el tratamiento con Cadmio es donde se

obtiene la producción de mayor cantidad de masa seca en la raíz, mientras que en los tratamientos con Plomo es donde se aprecia una disminución marcada, lo cual indica el efecto negativo del Plomo en esta producción de masa seca. En general se aprecia que el Cadmio favorece una mayor producción de masa seca, no así en el caso del Plomo.

Algunos autores (Varvara, et al. 2001) plantean que las plantas acumulan el Plomo en las raíces y en los tallos, inhibiendo por tanto el desarrollo y crecimiento de la parte radical, lo que coincide con lo planteado por Williams, et.al. (2000), en el sentido de que éste elemento, por su toxicidad, causa inhibición del crecimiento de la raíz. Esto se corresponde con otros resultados que mas adelante se exponen.

Evaluación de los índices morfológicos

Relación parte aérea / parte radical (PA/PR).

Como se observa en la Tabla 4.6, existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, lo cual esta relacionado con los resultados obtenidos en cuanto a la producción de masa seca de la parte aérea de la planta y la parte radical.

Tabla 4.6.- Índices morfológicos

Tratamiento	Testigo	Cd	Pb	Cd+Pb	Error std	Desv. std
PA/PR	4.31b	2.97c	5.77a	3.95b	0.12	1.27
TAN (g cm ⁻² día ⁻¹)	0.005c	0.007a	0.005c	0.006b	0.0001	0.001

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

En el tratamiento con Plomo se observaron los mayores valores de la relación PA/PR, debido al poco desarrollo del sistema radical provocado por este tratamiento (Varvara, et al, 2001), lo que se corresponde con la influencia inhibitoria del Pb en la fotosíntesis, en la acción enzimática y en el crecimiento.

Tasa de Asimilación neta

Como se puede observar en la Tabla 4.6, el resultado del análisis estadístico realizado a los valores obtenidos para la Tasa de Asimilación Neta (TAN) indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos Testigo, Cadmio y combinado. No se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos Testigo y Tratamiento con Plomo. Teniendo en cuenta que la TAN es una relación entre la masa seca media y el área foliar media, es de esperar que el tratamiento con Cadmio presente el mayor valor en esta variable, lo que se corresponde con lo explicado anteriormente sobre la variación del área foliar y la masa seca.

Al tratamiento combinado le corresponde el segundo lugar en el valor de esta variable y a continuación los tratamientos Testigo y Tratamiento con Plomo no difieren significativamente en los valores de la TAN. Esto puede estar dado a que en la misma proporción en que disminuye la parte aérea, también disminuye la parte radical, aunque se aprecia una disminución (no significativa dado el alto valor de la desviación estándar) en el tratamiento con Plomo. Por otra parte este resultado también puede estar dado, porque el efecto del Cadmio sobre la acumulación de materia seca está por encima de lo que inhibe el Plomo la actividad fotosintética. Aunque no está claro en el caso del Cadmio el papel que juega este elemento en la acumulación de materia seca o sea que está por esclarecer si su influencia es sobre el estímulo de la actividad fotosintética o sobre la inhibición de la actividad respiratoria.

Estudio de la acumulación de Cadmio y Plomo en la planta de tabaco.

En la Tabla 4.7 se observa la acumulación de Cadmio y Plomo en la planta de tabaco.

Tabla 4.7.- Distribución y acumulación del Cadmio y Plomo en la planta de tabaco

Planta	Tratamiento	Cd (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)
RAIZ	Testigo	1,25g	3,15fg
	Cadmio	36,85c	2,35g
	Plomo	1,50g	18,45c
	Cadmio+Plomo	54,25a	28,35a
TALLO	Testigo	0,57g	2,25g
	Cadmio	5,70fg	2,40g
	Plomo	1,40g	13,35e
	Cadmio+Plomo	14,15e	16,60cd
LIBRE PIE	Testigo	3,25g	5,25f
	Cadmio	28,0d	5,00f
	Plomo	2,0g	14,5de
	Cadmio+Plomo	48,0b	26,0b
UNO Y MEDIO	Testigo	1,75g	2,50g
	Cadmio	6,5fg	2,50g
	Plomo	2,0g	14,25e
	Cadmio+Plomo	9,50ef	15,5de
CENTRO	Testigo	1,25g	2,50g
	Cadmio	4,75fg	2,50g
	Plomo	1,75g	2,50g
	Cadmio+Plomo	3,50g	2,50g
CORONA	Testigo	1,50g	2,50g
	Cadmio	2,75g	2,50g
	Plomo	1,50g	2,50g
	Cadmio+Plomo	3,25g	2,50g
Error Std		2,2	1,2
Desv. Std		15,4	8,1

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Estos elementos (Cd y Pb), fueron aplicados al suelo en forma de quelatos tanto de forma independiente como combinados en relación con el testigo. En la Tabla 4.7 se puede apreciar como la variedad de tabaco *Criollo 98* es capaz de asimilar y acumular elementos pesados como el Cadmio y el Plomo con relativa facilidad. En los tratamientos en que se aplica Cadmio, ya sea combinado con el Plomo o de forma aislada, este elemento es absorbido y acumulado mayoritariamente en la raíz y en el primer corte de la hoja (libre pié), aunque también se observan diferencias significativas en su absorción en el tallo con respecto al tratamiento testigo y al tratamiento con Plomo.

En el caso del Plomo el comportamiento es algo diferente por cuanto, además de acumularse en la raíz, tallo y primer corte de la hoja, pueden encontrarse cantidades significativamente diferentes en el segundo corte de la hoja (uno y medio). No se observan diferencias significativas en los contenidos de Plomo en el centro de la planta y en la corona, donde sus concentraciones son las mas pequeñas. El hecho de que estos elementos se acumulen fundamentalmente en la parte basal de la planta parece estar relacionado con su inmovilidad relativa.

En el caso de ambos elementos se observa un comportamiento similar en la planta y la misma tendencia de esta de acumular tanto en la raíz, tallo y primeros cortes de la hoja. Wagner (1986) encontró que la variedad *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora del Cadmio, tanto en las hojas como en la raíz de la planta, lo que confirma los resultados alcanzados.

A continuación se realiza un análisis de cómo influyen el Cadmio y el Plomo en la asimilación por la planta de otros elementos considerados esenciales para su crecimiento y desarrollo.

En la Tabla 4.8 se muestra la influencia del Cadmio y el Plomo en la acumulación y/o asimilación de los elementos Hierro (Fe), Magnesio (Mg) y Fósforo (P) en la planta de tabaco.

Tabla 4.8.- Influencia de Cadmio y Plomo en la acumulación de Magnesio, Fósforo e Hierro en la planta de tabaco

Planta	Tratamiento	Magnesio (%)	Fósforo (%)	Hierro (%)
RAIZ	Testigo	0,34ij	0,22ij	0,15bcd
	Cadmio	0,35hij	0,24hi	0,15bcd
	Plomo	0,35hij	0,25gh	0,13cd
	Cadmio+Plomo	0,32j	0,28def	0,16abc
TALLO	Testigo	0,40fghi	0,26fg	0,13d
	Cadmio	0,41efgh	0,27efg	0,16abc
	Plomo	0,38ghi	0,27efg	0,14bcd
	Cadmio+Plomo	0,38ghi	0,27efg	0,13d
LIBRE PIE	Testigo	0,45bcdef	0,22ij	0,13bcd
	Cadmio	0,50abc	0,20j	0,16ab
	Plomo	0,53a	0,20j	0,16ab
	Cadmio+Plomo	0,46abcde	0,21j	0,17a
UNO Y MEDIO	Testigo	0,40fghi	0,31abc	0,04fg
	Cadmio	0,51abc	0,31abc	0,05f
	Plomo	0,40fghi	0,27efg	0,08e
	Cadmio+Plomo	0,42defg	0,29cde	0,09e
CENTRO	Testigo	0,45cdef	0,30abcd	0,03fgh
	Cadmio	0,50abc	0,30abcd	0,03fgh
	Plomo	0,51abc	0,27efg	0,03fgh
	Cadmio+Plomo	0,51abc	0,27efg	0,03fgh
CORONA	Testigo	0,47abcde	0,31abc	0,02h
	Cadmio	0,52ab	0,33a	0,02gh
	Plomo	0,49abcd	0,32ab	0,02h
	Cadmio+Plomo	0,50abc	0,30abcd	0,02gh
Error Std		0,01	0,008	0,008
Desv. Std		0,08	0,06	0,06

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Como se aprecia en la tabla anterior, el Magnesio es acumulado de forma homogénea en los diferentes cortes de la planta lo cual debe estar relacionado con las funciones de este elemento en la planta y a su gran movilidad en la misma. El menor contenido de

Magnesio se encuentra en las raíces. Las raíces y los microorganismos que carecen de clorofila también requieren magnesio, pero en estos casos su principal función es la activación de numerosas enzimas. No se aprecia una influencia de los tratamientos sobre la asimilación de este elemento.

El Fósforo tiene un comportamiento característico por cuanto los niveles mas bajos de este nutriente se encuentran en la raíz, el tallo y en las hojas mas viejas, o sea en el primer corte o libre pié. Los mayores contenidos de Fósforo se detectan en los cortes superiores de la planta. A partir del segundo corte (uno y medio), este elemento se presenta con bastante homogeneidad, dada sus funciones relacionadas con la síntesis y degradación en las moléculas de ATP y a su movilidad en la planta.

En el caso del Hierro se puede observar un comportamiento contrario con respecto al Fósforo. El Hierro es muy poco móvil en la planta, tal vez porque está precipitado como óxido insoluble o en forma de fosfatos orgánicos o inorgánicos. Existen evidencias de que se trata de formas de precipitación débiles, pero quizás se produzcan otros compuestos insolubles similares. En este caso se aprecia que el Hierro se acumula fundamentalmente en la raíz, tallo y primer corte de hojas, mientras que los contenidos descienden hacia los cortes superiores. Un comportamiento similar fue demostrado por Sivori (1980), el cual planteó que este hecho debía estar relacionado con la poca movilidad del elemento en la planta.

En la Tabla 4.9 se muestra la influencia de las aplicaciones de Cadmio y Plomo en la absorción y acumulación del Potasio, Calcio, Boro y Cobre en la planta de tabaco.

Tabla 4.9.- Influencia de Cadmio y Plomo en la acumulación de Potasio, Calcio, Boro y Cobre en la planta de tabaco

Planta	Tratamiento	Potasio (%)	Calcio (%)	Boro (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)
RAIZ	Testigo	3,67gh	3,92cdefgh	37,5ab	29,5ef
	Cadmio	3,67gh	3,99bcdefg	35,5b	29,5ef
	Plomo	3,65gh	3,85fghi	40,5ab	29,5ef
	Cadmio+Plomo	3,50h	4,04bcdef	35,5b	32,5cd
TALLO	Testigo	4,90a	4,07abcd	54,0ab	20,5i
	Cadmio	4,81ab	4,12abc	55,0ab	26,0g
	Plomo	4,85a	4,16ab	53,0ab	22,5hi
	Cadmio+Plomo	4,45bcd	3,89defghi	46,0ab	21,7hi
LIBRE PIE	Testigo	4,33cd	4,03bcdef	52,5ab	23,5h
	Cadmio	3,86efgh	4,02bcdef	66,3ab	32,0cd
	Plomo	4,13def	4,26a	51,5ab	27,8fg
	Cadmio+Plomo	3,74fgh	3,86efghi	42,5ab	21,5hi
UNO Y MEDIO	Testigo	4,75ab	3,69ij	55,0ab	26,8g
	Cadmio	4,57abc	3,78hi	73,5a	31,3de
	Plomo	4,18de	3,57jk	54,3a	31,0de
	Cadmio+Plomo	4,61abc	3,51k	39,3ab	23,8h
CENTRO	Testigo	4,37cd	3,82ghi	60,0ab	35,8b
	Cadmio	4,19de	3,85fghi	54,0ab	32,5cd
	Plomo	3,95efg	3,89defghi	65,0ab	33,8bc
	Cadmio+Plomo	4,18de	4,06bcde	58,8ab	30,5de
CORONA	Testigo	3,88efgh	3,86efghi	45,5ab	32,8cd
	Cadmio	3,88efgh	3,84fghi	51,3ab	38,3a
	Plomo	3,75fgh	3,80ghi	52,5ab	33,8bc
	Cadmio+Plomo	3,87efgh	4,05bcdef	52,3ab	31,8cde
Error Std		0,06	0,03	2,1	0,7
Desv. Std		0,44	0,18	14,6	4,8

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Como se aprecia en la tabla anterior, se presentan algunas irregularidades en el comportamiento de estos elementos. En el caso del Potasio, por su condición de macronutriente muy móvil, el mismo debe moverse en la planta de los cortes inferiores a los superiores, aunque esto ocurre normalmente en la medida que la hoja de la planta va llegando a su madurez fisiológica y no en su madurez técnica. Este momento, en la variedad Criollo 98, no se encuentra exactamente definido. Las máximas concentraciones de Potasio se obtienen en el segundo corte de la hoja (uno y medio) y las más bajas en la raíz.

En el caso del Calcio, los niveles más bajos se determinaron en los cortes donde son más elevados los niveles de potasio (K), lo que debe estar asociado a un proceso de antagonismo, cuando las concentraciones de uno de los cationes analizados predomina sobre el otro. Es de señalar que esto se acentúa más en presencia de Cadmio que en presencia del Plomo, aún cuando se apliquen combinados. En algunos casos las plantas pueden crecer con niveles relativamente bajos de Calcio. Se pueden obtener plantas sanas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) con contenidos muy bajos de calcio, pero para ello es necesario reducir el nivel de algunos otros cationes como Mg^{2+} , Cu^{2+} , y $Fe^{(2+, 3+)}$, pues de otra forma estos resultan tóxicos. Un suministro elevado de calcio puede ayudar a desintoxicar la planta de otros elementos, como ocurre con el exceso de cobre.

El Boro, por ser un microelemento inmóvil dentro de la planta, tiende a acumularse en los cortes más bajos de ésta, siempre y cuando existan las condiciones adecuadas en el suelo para su absorción. La aplicación de Cadmio y Plomo puede inducir reacciones con los iones del ácido bórico presente en la disolución del suelo, produciendo la formación de las correspondientes sales de borato de Cadmio y de Plomo, que al ser insolubles precipitan y pierden la probabilidad de ser absorbidas por la planta. Tal situación se puede superar hacia las etapas finales del cultivo, por lo que aumentan sus niveles en los cortes superiores.

Tales condiciones parecen tener cierta influencia en la absorción del Cobre, el cual se

acumula en mayor medida hacia los cortes superiores aún siendo un microelemento poco móvil dentro de la planta. El cobre participa en la regulación de la actividad respiratoria mediante la catálisis de las enzimas oxidantes y de reducción. En este experimento se pudo establecer un valor mínimo de Cobre en la planta de 20,0 mg/kg, un valor máximo de 38,5 mg/kg y una media de 29,1 mg/kg.

El cobre es un micronutriente vital para las plantas, jugando un rol irremplazable en la acción metabólica de un gran número de enzimas celulares. No obstante, puede provocar efectos tóxicos a niveles algo superiores a sus concentraciones esenciales. Los síntomas de la fitotoxicidad del cobre son la reducción del desarrollo de las ramas y el engrosamiento y coloración anormalmente oscura de las radículas de muchas plantas.

Dado que el cobre cataliza la formación de radicales libres reactivos capaces de iniciar la peroxidación de los ácidos grasos no saturados en las biomembranas, su toxicidad puede deberse, al menos en parte, a este daño oxidativo de los tejidos (Navari-Izzo et al., 1998 citado por Eija Pätsikkä, et al. 2002). En la investigación de Navari-Izzo et al. (1998), relacionada con la toxicidad del cobre sobre enzimas antioxidantes cloroplásticas del *Triticum durum* (trigo), los experimentos in vitro realizados mostraron que este metal puede actuar como un eficiente generador de especies tóxicas oxigenadas por su efecto inhibidor en la actividad de los fotosistemas.

Doncheva et al. (1996) sugieren que una de las manifestaciones de la toxicidad del cobre es una alteración de la estructura nuclear del vegetal conducente a un decrecimiento de la actividad metabólica. Millis (2004) estableció que las concentraciones máximas admisibles de cobre en hojas y tallo oscilan entre 20 y 30 mg/kg, con pocas excepciones.

En la Tabla 4.10 se muestra la acumulación del Manganeseo, Zinc y Níquel en los diferentes cortes de la planta de tabaco.

Tabla 4.10.- Influencia de Cadmio y Plomo en la acumulación de Manganeso, Zinc y Níquel en los diferentes cortes de la planta de tabaco

Tratamiento/Corte	Manganeso (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	Níquel (mg/Kg)
T (Raíz)	73,5bc	72,5abc	3,2ab
Cd (Raíz)	75,5b	71,5abcd	3,1abc
Pb (Raíz)	69,5cd	71,5abcd	3,2ab
Cd+Pb (Raíz)	73,5bc	76,5a	3,2ab
T (Tallo)	64,5e	68,0bcde	1,5cdefg
Cd (Tallo)	65,0de	68,5bcde	1,4defg
Pb (Tallo)	64,5e	66,5cdef	1,5cdefg
Cd+Pb (Tallo)	61,5f	65,5cdef	1,6bcdefg
T (Libre pie)	72,5bc	55,0gh	3,0abcd
Cd (Libre pie)	72,5bc	52,5h	3,8a
Pb (Libre pie)	65,0de	55,0gh	1,8bcdefg
Cd+Pb (Libre pie)	82,5a	52,5h	1,8bcdefg
T (Uno y medio)	55,0gh	65,0def	2,0bcdef
Cd (Uno y medio)	50,0ij	62,5ef	1,3efg
Pb (Uno y medio)	57,5fg	60,0fg	1,3efg
Cd+Pb (Uno y medio)	55,0gh	55,0gh	1,3efg
T (Centro)	50,0ij	75,0ab	1,0fg
Cd (Centro)	46,5jk	65,0def	1,3efg
Pb (Centro)	44,3k	62,5ef	2,8abcde
Cd+Pb (Centro)	44,5k	67,5cde	0,3g
T (Corona)	55,0gh	60,0fg	1,0fg
Cd (Corona)	52,0hi	65,0def	1,0fg
Pb (Corona)	44,3k	60,0fg	1,0fg
Cd+Pb (Corona)	43,5k	55,0gh	0,3g
Error Std	1,75	1,1	0,16
Desv. Std	11,6	7,4	1,10

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

En esta tabla se muestra la redistribución del Manganeso en la planta. La acumulación de este micronutriente se produce fundamentalmente en la raíz, el tallo y en el primer

corte de la hoja o libre pie, independientemente de las aplicaciones de Cadmio y Plomo al suelo.

Se observa que cuando se aplicó Cadmio y Plomo de forma combinada, se produjo un estímulo en la absorción y acumulación del Manganeseo en el primer corte de la hoja, encontrándose un nivel máximo de 82,5 mg/kg, altamente significativo con respecto al resto de la planta.

El Zinc se acumula en la raíz, el tallo y en la parte central de la planta o en el tercio superior de la misma. Prácticamente no se observan diferencias significativas entre los tratamientos en la raíz y el tallo. El hecho de que el Zn se acumule en la parte central de la planta, se corresponde con lo planteado por Borroto (1991). Tanto el Zn como el Mn son microelementos poco móviles en la planta por lo que su acumulación en una u otra parte de la misma está en correspondencia con las circunstancias o condiciones que se presenten en la solución del suelo y en la relación inter-nutriente, ya que elevadas concentraciones de Mn en el suelo pueden interactuar antagónicamente con el Cobre, Hierro y el Zinc, al provocar su oxidación y por lo tanto su insolubilidad (Sivori, 1980).

Con respecto al Níquel, se aprecia una fuerte tendencia de este elemento de quedar mayoritariamente retenido en la raíz de la planta. Por otra parte, y en relación con la acumulación del Ni en las hojas, se observa que en el testigo y en los tratamientos con Cadmio hay un estímulo en la acumulación de este elemento en el primer corte o libre pie, no siendo así en presencia del Plomo, donde la máxima acumulación se presenta en el centro de la planta, todo ello debe estar relacionado con las condiciones del suelo y de la interacción inter-nutriente, ya que ninguno de estos elementos es esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta de tabaco.

Análisis del suelo post-cosecha.

En la Tabla 4.11 se muestran los resultados de los análisis realizados a cada una de las parcelas, después de la recolección completa de la cosecha.

Tabla 4.11.- Análisis de suelo en las parcelas de cada tratamiento

Elementos		Tratamientos				Estadística	
		Testigo	Trat. Cd	Trat. Pb	Trat. Cd+Pb	Std. Error	Std. Dev
%	Na	0,008b	0,003c	0,012a	0,004c	0,001	0,004
	K	0,14a	0,17a	0,18a	0,17a	0,01	0,04
	Ca	0,175a	0,180a	0,180a	0,180a	0,002	0,006
	Mg	0,064a	0,076a	0,076a	0,075a	0,004	0,01
	P	0,031a	0,032a	0,032a	0,030a	0,001	0,002
	Fe	0,84a	0,92a	0,90a	0,89a	0,02	0,05
mg/kg suelo	B	<1,25a	<1,25a	<1,25a	<1,25a	0,0	0,0
	Cu	12,75b	17,13a	11,38b	11,13b	0,9	2,6
	Ni	4,13a	4,50a	4,50a	4,63a	0,18	0,5
	Mn	223,8b	253,8a	243,8a	250,0a	4,6	13,1
	Zn	23,5a	27,5a	26,0a	25,0a	0,7	1,9
	Cd	0,38b	1,75a	0,25b	0,50b	0,2	0,6
	Pb	17,38a	15,38a	17,00a	15,25a	0,6	1,6

En una misma fila letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

Los resultados anteriores muestran una gran homogeneidad entre las parcelas, independiente del tratamiento utilizado en cada una de ellas. Lo mas importante a destacar es el hecho de que tanto el Cadmio como el Plomo, aplicados solos, o en el tratamiento combinado, han sido extraídos del suelo por la planta de tabaco, de manera que no existen diferencias significativas entre el suelo testigo y el suelo del resto de los tratamientos. Solo en el caso del tratamiento con Cadmio quedan en el suelo 1,75 mg/kg de este elemento, significativamente diferente con el testigo y con los restantes tratamientos, sin embargo esta concentración de Cadmio en el suelo no es considerada tóxica por la directiva europea 86/278/CEE sobre contenido en metales pesados en suelos agrícolas.

Teniendo en cuenta los valores de metales pesados encontrados y comparándolos con los indicados en la directiva 86/278/CEE para suelos agrícolas, se observa que no superan los límites establecidos. Estos valores son: Cu 140 ppm; Cd 3 ppm; Pb 350 ppm; Zn 350 ppm; Ni 75 ppm. Los contenidos están muy por debajo de los indicados en la directiva.

Comparando las medias obtenidas con las correspondientes a suelos naturales del mundo, se obtiene que los valores de estos metales pesados estén por debajo de dichas medias (Kabata-Pendias, 1992; Alloway, 1995 y Adriano, 1997). Estos resultados avalan la posibilidad de utilizar la planta *Nicotiana tabacum* L., variedad "Criollo 98" en técnicas de Fitorremediación.

CAPÍTULO 4

COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD "CRIOLLO 98" EN UN SUELO CONTAMINADO CON Cd Y Pb

Conclusiones:

- 1- Los metales pesados Cadmio y Plomo influyen negativamente sobre los índices morfológicos área foliar y relación PA/PR.
- 2- Los índices fisiológicos Producción de masa seca y la TAN se incrementan en presencia de Cadmio, mientras que en presencia de Plomo se reducen.
- 3- Los metales pesados Cadmio y Plomo cuando están presentes en el suelo son rápidamente absorbidos por la planta de tabaco, la cual los acumula fundamentalmente en la raíz y en las hojas basales.
- 4- La presencia de Cadmio y Plomo incide positivamente en la asimilación y acumulación de ambos elementos sugiriendo un mecanismo de sinergismo entre ambos elementos.
- 5- Los metales pesados Cadmio y Plomo aplicados al suelo en forma de Quelatos no provocan reacciones antagónicas con los demás cationes de igual carga tanto macro como micro elementos.
- 6- La planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, Variedad "Criollo 98" tiene buenas cualidades y características que permiten su uso en técnicas de Fitorremediación.

CAPÍTULO 5

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE Cd Y Pb EN LA VARIEDAD DE TABACO "CRIOLLO 98" CULTIVADA EN UN SUSTRATO INERTE.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior de este trabajo, se describe el desarrollo de un experimento, el cual consistió esencialmente en estudiar el comportamiento de la planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) variedad "Criollo 98" en un suelo contaminado con los metales pesados Cadmio y Plomo. Los resultados obtenidos, en cuanto a la asimilación de Cadmio y Plomo por esta planta fueron interesantes y significativos y establecían la idea de que esta variedad de tabaco podía ser utilizada en técnicas de fitorremediación. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se planificó y llevó a cabo un experimento de cultivo con esta variedad de planta, utilizando un sustrato artificial y relativamente inerte, para un mejor control de las variables estudiadas.

Se realizó un estudio de los principales materiales utilizados como sustratos en cultivos hidropónicos, sus características físicas, propiedades químicas, así como otras propiedades importantes y que son necesarias tener en cuenta para el empleo de estos materiales para tal fin.

El cultivo de plantas en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en pleno suelo (Abad, 1993). Al cultivar en contenedor las características de éste resultan decisivas en el correcto crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato. En el caso del cultivo de plantas en contenedor el volumen de sustrato es limitado y de él las plantas absorberán el oxígeno, agua y nutrientes. Por otra parte, hay referencias que indican que en el cultivo intensivo de plantas, en el que las temperaturas están controladas y los niveles de nutrientes en el sustrato acostumbran a ser altos, se produce una mayor absorción de agua y transpiración por parte de la planta, debido a que el tiempo de apertura de estomas es

superior (Abad, 1993); esto obliga a regar frecuentemente para que en todo momento exista agua fácilmente disponible en el sistema radicular, lo que sin duda puede ocasionar problemas por falta de aireación. Por lo anterior, es conveniente emplear sustratos con una elevada porosidad. Esta es la causa fundamental de que un suelo agrícola no pueda ser utilizado para el cultivo en contenedor.

Se define por sustrato un medio sólido inerte, que tiene una doble función: la primera, anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. Los materiales que se han experimentado para uso de laboratorio y para cultivos comerciales son muchos y no siempre han respondido positivamente desde el doble punto de vista técnico y económico (Abad y Noguera, 1997).

Las propiedades de tipo físico resultan de enorme importancia para el correcto desarrollo de la planta; cabe señalar, que una vez colocada ésta en el contenedor resulta prácticamente imposible modificar sus parámetros físicos iniciales. Algo contrario ocurre con las propiedades de tipo químico, que pueden resultar modificables mediante técnicas de cultivo adecuadas. Esto hace que deba de contemplarse con especial cautela todo lo referente a los parámetros físicos, en especial al binomio “retención de agua – aireación”. Condición responsable del éxito o fracaso de la utilización de un determinado material como sustrato de cultivo.

La granulación (dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato) ha de ser tal que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire. Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo, e impide el paso del aire. En general la experiencia señala como mejores aquellos sustratos que permiten la presencia del 15 al 35 % de aire y del 20 al 60 % de agua en relación con el volumen total (Burés, 1997).

Un sustrato hidropónico debe reunir un conjunto de características que lo hagan apto para el cultivo. No siempre un sustrato reúne todas las características deseables; por

ello a veces se recurre a mezclar diversos materiales, buscando que unos aporten lo que les falta a otros (Burés, 1999).

Características:

1. Debe retener humedad
2. Debe permitir buena aireación
3. Debe tener buena estabilidad física
4. Debe ser inerte químicamente
5. Debe ser inerte biológicamente
6. Debe tener buen drenaje
7. Debe tener capilaridad
8. Debe ser liviano
9. Debe ser de bajo costo
10. Debe estar disponible

La retención de humedad por el sustrato, en cantidades adecuadas y en forma homogénea, determina la posibilidad a la planta, de utilizar el agua como vehículo para sus funciones metabólicas. La retención es función de la granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen. Para juzgar adecuadamente los materiales disponibles es muy útil conocer la capacidad de humedad a saturación y la retención a capacidad de campo, es decir, la cantidad total de agua que el sustrato puede contener y la cantidad que retiene después de que el líquido ha sido ya eliminado por gravedad a tensión cero. Este último dato es de capital importancia porque indica en qué medida el material mantiene la humedad alrededor de las raíces y hasta qué punto permite que circule el aire.

La retención de humedad en peso nos indica la cantidad de agua que es capaz de retener un kilogramo de sustrato, mientras que la retención de humedad expresada en volumen nos indica la cantidad de humedad que puede retener la unidad de volumen de sustrato. Por ejemplo 100 gramos de cascarilla de arroz puede retener 40 gramos de agua y 100 ml de cascarilla pueden retener 11 ml de agua. El segundo concepto

importante a tener en cuenta, aparte de la cantidad de humedad retenida, es la fuerza con la que esta es retenida. Usualmente esta fuerza se mide en centibares y para el caso específico de sustratos, se mide en cm de agua. Una vez que las plantas empiezan a extraer el agua del sustrato, la tensión de humedad va aumentando y llega a un punto tal que las plantas ya no pueden extraer más cantidad de agua.

Distribución del tamaño de Partículas. Muchos sustratos están constituidos por una mezcla de partículas con tamaños diferentes. Las propiedades físicas de estos sustratos variarán en función de la distribución del tamaño de sus partículas, siendo por tanto de importancia fundamental la caracterización granulométrica de los materiales. El tamaño de las partículas afecta al crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad (Canovas y Díaz, 1993).

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0,9 mm, con poros grandes, superiores a 100 μ m, retienen cantidades reducidas de agua pero están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0,25 mm y tamaño de poros inferior a 30 μ m, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura media a gruesa, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 μ m y 300 μ m, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0,25 mm y 2,5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y presenta, además, un adecuado contenido en aire (Raviv *et al.*, 1986; Puustjarvi, 1994).

Por último es necesario insistir en la importancia que tiene la homogeneidad del sustrato, tanto dentro del mismo lote como entre los diferentes lotes. La curva de retención de agua es muy sensible a las variaciones de la granulometría o de la longitud de fibra del material que constituye el sustrato. Si el lote de sustrato no se ha homogeneizado puede ocurrir que algunas partes del mismo sustrato tengan diferentes propiedades físicas. En estas condiciones cuando unas partes tengan un contenido

adecuado de agua en otras se darán condiciones de asfixia o de falta de agua haciendo difícil un buen manejo del agua de riego.

Se debe procurar, en la zona de las raíces, una proporción del 30% de materiales y un 70% de espacio vacío, el cual será ocupado a partes iguales por aire y agua, pudiendo reducirse la parte sólida del sustrato hasta un 10%. Mientras más elevada sea la capacidad de retención de agua del sustrato, menos frecuentes deben ser los riegos; además, no debe obstruirse la parte porosa ocupada por aire, es decir, que deben existir bastantes macroporos. Se puede obtener una porosidad óptima mezclando en forma apropiada materiales compactos con otros porosos y de gránulos gruesos; también se pueden obtener los mismos resultados utilizando materiales orgánicos, como la cascarilla de arroz o el aserrín, los cuales poseen una estructura esponjosa y mejoran, por tanto, la porosidad al aire y al agua.

Cuando el sustrato es demasiado fino, o cuando el recipiente no tiene los orificios o la forma que permita un drenaje adecuado sucede que los espacios vacíos del sustrato se llenan de agua, desalojando el aire e impidiendo entonces la adecuada oxigenación de las raíces. Al poco tiempo, las raíces se vuelven de un color carmelito y después se van muriendo. Cuando un sustrato contiene materia orgánica como cascarilla de arroz, viruta o aserrín, son más graves las consecuencias de la inundación, ya que dichos sustratos se descomponen, consumiendo el oxígeno necesario para la respiración de las raíces.

Una importante condición para el éxito en los cultivos hidropónicos es la respiración suficiente de las raíces. Algunas plantas requieren altas presiones parciales de oxígeno en el ambiente radicular. En consecuencia el tipo de sustrato y en especial su granulometría son de fundamental importancia. El empleo de un sustrato con estructura estable muy poroso y la aireación complementaria de la solución, evitan el peligro de la falta de oxígeno en la zona radicular, siendo ésta aún mejor que la obtenida en los suelos naturales. Cuando el medio radicular se vuelve anóxico, empiezan a proliferar bacterias anaerobias, las cuales obtienen el oxígeno a expensas de sustancias como

los carbohidratos. Estas bacterias actúan por igual sobre los carbohidratos constituyentes de los tejidos vivos como de los tejidos muertos de tal manera que inician la muerte y el proceso de "pudrición".

El espacio poroso de un sustrato se subdivide de acuerdo con el tamaño de los poros en macroporos, ($> 200 \mu\text{m}$), mesoporos ($200 - 30 \mu\text{m}$) y microporos ($< 30 \mu\text{m}$). El agua gravitacional circula ampliamente por los macroporos y aun por los mesoporos. El movimiento se va restringiendo paulatinamente a medida que disminuye el tamaño de los poros y finalmente el agua retenida en los poros menores de $30 \mu\text{m}$ es de muy poca circulación. Estos son los poros que retienen el agua. Entre mas pequeños retendrán el agua con mayor fortaleza (Canovas et al., 1999).

La estabilidad física será la que determine si se mantiene con el tiempo una porosidad correcta, dependiendo de la velocidad de disgregación y descomposición del material. Esta deberá ser lo mas lenta posible. Los materiales más inadecuados son aquellos que se disgregan fácilmente con la acción del agua. La cascarilla de arroz quemada se disgrega más lentamente que la cascarilla de arroz cruda. Esto debido a que los microorganismos (bacterias) atacan con menos facilidad el carbón resultante de la cascarilla de arroz quemada.

Se conoce que las características de los sustratos han de ser diferentes en función de su finalidad; por ejemplo, si va destinado a unos semilleros se requiere un sustrato de fácil manejo, con el mínimo de perturbación para las raíces, de textura fina y elevada retención de agua para mantener una humedad constante, escasa capacidad de nutrición y baja salinidad. Características diferentes deberían de tener los sustratos destinados al enraizamiento de estaquillas o al crecimiento y desarrollo de las plantas (Llurva, 1997).

Desde el punto de vista químico, el sustrato también deberá satisfacer ciertas condiciones. Deberá ser químicamente inactivo, o sea, no absorber ni suministrar ningún elemento nutritivo, puesto que esto representaría una alteración en la solución

nutritiva. El aserrín de ciertas maderas, pueden suministrar taninos, los cuales son tóxicos para las plantas. Igualmente las virutas de madera utilizadas en las caballerizas han resultado con frecuencia tóxicas, algunas veces por excesivos contenidos de cloruros y otras por la presencia de taninos. Las arenas calcáreas muy abundantes en algunas zonas costeras pueden reaccionar con la solución nutritiva y producir desbalances que conducen a deficiencias de Fósforo y de Hierro,

El sustrato hidropónico debe ser, a diferencia del suelo, un medio carente de actividad biológica; en este sentido, cualquier presencia de insectos o patógenos tendría un carácter explosivo, ante la total ausencia de controles naturales. En cuanto a la parte biológica al comienzo del cultivo, el sustrato deberá estar libre de plagas o enfermedades; es peligroso, por tanto, cualquier material que contenga tierra o compost no desinfectados pues los daños por patógenos como *Nemátodos* o *Fusarium* podrían ser fatales en este caso. Este riesgo puede ser superado mediante una cuidadosa desinfección. Cuando se recurre al uso de mezclas que contienen suelo se deberá realizar una cuidadosa selección del suelo a usar y de ser posible, una desinfección por medio del vapor, agua hirviendo o algún desinfectante químico (Fernández et al. 1998).

Todo tipo de recipiente y de sustrato que se esté utilizando, deberá permitir un buen drenaje. Cuando una planta hidropónica requiere mayor cantidad de agua, debemos aplicar mayor cantidad de riegos, pero nunca debemos inundar el sustrato con el fin de ahorrar riegos, ya que esto va contra la disponibilidad de oxígeno (De Boodt et al., 1974).

La capilaridad consiste en la capacidad que tiene un sustrato de absorber agua a través de los microporos y de transportarla en todas las direcciones. La más crítica de las direcciones es la vertical, ya que en ella se realiza el transporte de agua en contra de la gravedad. Por tal motivo la denominamos Capilaridad Ascensional. Esta propiedad es esencial cuando se usa un sistema de riego por goteo, en el cual se necesita que el agua se distribuya horizontalmente a partir del punto del goteo. Cuando el sustrato no tiene capilaridad, el agua se mueve verticalmente a través del perfil del mismo, llegando

rápidamente al drenaje y dejando zonas secas en las cuales no se puede desarrollar el sistema radicular. Cuando el sustrato tiene buena capilaridad, el agua es repartida en todas las direcciones, haciendo que el sistema radicular de las plantas encuentre una humedad homogénea en todo el recipiente (Moroto, 1990).

Características de algunos sustratos:

La cascarilla de arroz. Este material es un subproducto de la industria molinera, que se produce ampliamente en las zonas arroceras y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, dado su alto contenido de sílice. Es liviano y su principal costo es el transporte (Martínez y García, 1999).

Se presenta como material liviano, de buen drenaje, buena aireación, pero presenta una baja retención de humedad inicial y es difícil conservar la humedad homogéneamente cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas. A medida que envejece va aumentando su capacidad de retención de humedad. Se comporta bien como sustrato en los sistemas que utilizan canaletas. Tiene una buena inercia química inicial, aunque con el paso de los años, dos o mas, se va descomponiendo.

Cáscara de Coco. Es un material orgánico de lenta descomposición que resulta como subproducto en las plantaciones de Coco. A pesar de ser un material orgánico, su descomposición es muy lenta debido a su elevado contenido de lignina (45 %). Es un material duro de descomponer. La cáscara de coco contiene dos clases de materiales. Uno de aspecto parecido al corcho, pero de poro abierto, de gran capacidad de absorción de agua y de gran capilaridad y otro consistente de fibras de longitud variable que pueden llegar hasta 4 cm. de longitud. En algunas explotaciones se retira la fibra a la cual se le dan usos textiles y el material corchoso resultante se comercializa como sustrato para cultivos hortícola.

La cáscara de coco dado su origen en regiones costeras suele ser un material rico en sales, especialmente Sodio y Cloruros. Estos deben ser evacuados previamente a su

utilización como sustrato hidropónico, lo cual es una práctica relativamente fácil ya que estas sales no se encuentran fuertemente retenidas por el sustrato.

Arenas. Es una de las sustancias más utilizada en la mezcla de sustratos. La arena mejora la estructura del sustrato, pero aporta peso al mismo. Las arenas utilizadas no deben contener elementos nocivos tales como sales, arcillas o plagas. El grano no debe ser grueso. La arena de río, que es la mejor, debe estar limpia para ser utilizada en sustratos. La arena utilizada en construcción no es buena porque lleva mucha arcilla y se compacta. De las diversas arenas existentes, la de río es la más adecuada como sustrato para los Cultivos Hidropónicos. El tamaño de los granos deberá estar comprendido entre 0.5 y 2 milímetros.

Al considerar las arenas, es necesario tener en cuenta que tengan un contenido mínimo (casi nulo), de arcillas que traigan problemas de fijación iónica. Esto hace que las areniscas descompuestas (arena de peña) no sean muy aconsejables para los Cultivos Hidropónicos. En el uso de muchas de estas arenas se suele presentar una severa deficiencia de fósforo, ya que la arena puede retener o fijar el fósforo de la solución nutritiva, no dejándolo disponible para las plantas. La arena corriente de río es utilizable cuando su contenido en Carbonato de Calcio es inferior al 20 %. Las arenas ricas en Carbonato de Calcio, como las arenas coralinas de playa, no son recomendables por su capacidad para alterar las soluciones nutritivas (Sade, 1997).

Como ventajas del cultivo en arena deben considerarse el suministro fácil y barato del sustrato, el ahorro de la lucha contra las malezas y su buena conservación. Como desventajas, la difícil aireación en caso de tener el material granos muy finos y el inconveniente de que la humedad del sustrato y la concentración de sales de la solución, presentan fuertes variaciones en caso de no ser manejadas con mucho cuidado, lo cual da lugar a problemas en el crecimiento. Esto suele ocurrir especialmente cuando se aportan los elementos nutritivos en forma sólida, regando a continuación. También ocurre cuando se utilizan soluciones nutritivas que no poseen un balance adecuado para Cultivos Hidropónicos.

Gravas. Las gravas o gravillas son pedazos de rocas trituradas artificialmente o encontradas en estado natural en los lechos de los ríos o en canteras en tamaños que van desde 5 mm hasta 25 mm. Las gravas, en general son buenos materiales para Hidroponía de sub-irrigación. Por el tamaño de las partículas no presentan buena distribución del agua horizontalmente, a la vez que su capilaridad es muy baja.

Tienen magnífico drenaje, por lo que se pueden utilizar para cultivos en canaletas. Por lo afilado e irregular de las partículas, pueden presentar problemas a los cultivos de bulbos o raíces y a los tallos de las plantas. La selección de la clase y tamaño de la grava es muy importante. El mejor tamaño es el comprendido entre 6 mm y 12 mm. Se puede usar roca triturada pero es mejor la grava redondeada de río. La grava calcárea puede presentar problemas de reacción con la solución nutritiva. En general este tipo de sustrato requiere de una alta frecuencia de riego, sobre todo cuando la profundidad del recipiente es pequeña. Para instalaciones con 15 a 20 cm de profundidad se pueden requerir hasta 8 riegos diarios (Terres et al., 1997).

Escorias de carbón. Las escorias son residuos de la quema de carbón mineral provenientes de hornos y calderas, muy utilizados por floricultores y viveristas para el enraizamiento. Es un buen sustrato, mientras se cuida su granulometría, pues cuando es muy fina, produce encharcamientos y cuando es gruesa tiene los mismos problemas de las gravas de muy baja retención de humedad. Como sustrato tiende a degradarse físicamente hasta convertirse en polvo aunque en general es de muy buena estabilidad física. Puede presentar problemas químicos como fijación de fósforo y excesos de boro. El lavado, el suministro de estos elementos y la corrección de la acidez o alcalinidad (pH) son prácticas obligadas cuando se utilizan estos sustratos. En este sentido es bueno hacer ensayos antes de proceder en escalas mayores. Es un sustrato con muy buena retención y distribución de humedad, de peso medio y de suministro irregular en algunos sitios.

Piedra pómez. La piedra pómez es un material de origen volcánico, muy parecido a la escoria de carbón mineral, la cual se encuentra disponible en diversas zonas

volcánicas. Posee muy buena retención de humedad y muy buenas condiciones físicas de estabilidad y durabilidad. A veces puede presentar problemas químicos por excesos de azufre y boro, pero estos pueden ser eliminados mediante un cuidadoso lavado con agua caliente. No trae ninguna clase de enfermedades y desde el punto de vista biológico es completamente estéril, siempre que se extraiga de vetas profundas y no contenga mezcla de tierra.

Aserrines y virutas. Los aserrines y virutas suelen tener el problema del desconocimiento de su origen, lo cual implica un riesgo alto por la eventual presencia de compuestos tóxicos de la madera. Los aserrines y virutas son compuestos orgánicos, con una velocidad de descomposición que depende del tipo de madera y que ocasiona en este proceso un alto consumo de nitrógeno, generando deficiencias de este elemento para las plantas, cuando el suministro se hace a niveles normales en la solución nutritiva. Para que tenga un buen drenaje se deben buscar granulometrías comprendidas entre 3 y 8 mm. Han sido probados con éxito los aserrines de pino y eucalipto.

Ladrillos y tejas molidas. Son buenos sustratos como retenedores de humedad, dada su extraordinaria porosidad. Es necesario cuidar su origen, en cuanto a la presencia de elementos calcáreos o de cemento. Las partículas de molienda, entre 0,5 y 2 cm., conforman una buena granulometría. Cuando las partículas son muy pequeñas presentan problemas de falta de porosidad. Es un sustrato que tiende a degradarse físicamente y por lo irregular de sus partículas pueden presentar los mismos problemas de las gravas. Es pesado y de difícil manejo.

Las turbas: Son los materiales más empleados en la elaboración de sustratos para macetas debido a sus cualidades. Las turbas rubias o poco descompuestas, debido a su estructura, poseen una excelente porosidad y son buenas receptoras de soluciones nutritivas, proporcionando gran aireación a las raíces. Además están libres de gérmenes y semillas de malas hierbas y son bastante ligeras. Después de su humedecimiento y abonado puede ser utilizada inmediatamente. Las turbas negras, más descompuestas

son de peor calidad, retienen peor el agua y poseen menos aireación para las raíces.

Para utilizar la turba hay que desmenuzarla y humedecerla ligeramente, ya que de otra manera se hace difícil su manipulación. Posteriormente habría que añadirle cal para aumentar su pH, aunque ello dependerá del tipo de turba, de la dureza de las aguas empleadas y de los cultivos a desarrollar. Hay que tener en cuenta cuando se utilizan aguas duras que a lo largo del cultivo el pH se verá aumentado entre 0.5-1 grado. Si se le ha añadido cal y se ha mezclado con la turba, deberá dejársela en reposo unas 10-12 horas para que la cal reacciones con la turba antes de su utilización. Posteriormente se procederá al abonado de fondo mediante la adición de un abono complejo en dosis de 1,5 kg por metro cúbico de sustrato (Urrestarazu, 1997).

Otros sustratos. La Espuma de Poliestireno expandido (Icopor) se utiliza como material de relleno casi exclusivamente con el fin de aligerar el peso de los sustratos y de los recipientes. La espuma de poliuretano se utiliza generalmente para realizar los semilleros. En algunas regiones se ha recurrido en menor escala al uso de carbón coke, carbón de leña y arcilla expandida. Además de los sustratos descritos también se han utilizado en algunos países la vermiculita, la perlita, las acículas plásticas de PVC, la turba, el musgo de *Sphagnum* y otros que se nombran en la literatura. Su utilización práctica esta condicionada a los objetivos buscados con la aplicación de esta tecnología.

Mezclas. Una alternativa razonable para trabajar con los sustratos, es realizar mezclas en diferentes proporciones. La arena, la escoria o piedra pómez, son excelentes mezcladores para garantizar la distribución de la humedad, pero sus proporciones y elementos dependen del análisis de las características de cada componente en particular. La gravilla, el ladrillo picado y el aserrín mezclados en proporción de una parte de cada uno ha sido un sustrato bastante generalizado en algunas zonas. Mezclas de 2 partes de cascarilla de arroz con una parte de arena fina han servido para establecer cultivos verticales en bolsas plásticas.

Tabla 5.1 Resumen sobre las principales propiedades físicas de los sustratos

Sustrato	Tamaño de grano mm.	Densidad aparente; kg/m ³	Porosidad Total; % vol	Capacidad de Aire	Agua Fácilmente Disponible AFD % vol	Agua de Reserva; AR; % vol	Agua Difícilmente Disponible; ADD; % vol	Capilaridad
Arena de Río	0.5 - 2.0	1.4 -1.60	38-42	5-20	15-35	1-2	0.1-0.5	Buena
Arena de Peña	0.2 - 0.5	1.5 - 2.0	25-35	1-15	10-20	2-5	0.1-0.5	Buena
Grava	5 -15	1.6 - 2.0	40	36	2	1	0.1-0.5	Mala
Piedra Pómez	5 -10	0.6 - 0.8	75	40-55	20-40	5-8	2-5	Buena
Ladrillo	10	0.8 - 1.0	60	20-25	15-30	5-10	1-5	Buena
Arcilla	4 - 10	0.32-0.70	72-88	47-63	2-5	5-12	10-20	Regular
Expandida								
Perlita	0.1 - 5	0.05 - 0.14	85-95	18 - 60	6-38	2-10	18 -30	Buena
Escoria de	10	0.8	60-80	40-60	20-30	5-10	2-5	Buena
Carbón								
Carbón Coke	10 - 25	0.6	60-80	50-60	15-25	2-5	1-2	Mala
Carbón de Leña	5 - 10	0.5	65-80	50-60	12-30	5-15	2-5	Mala
Turba	1-2	0.08	90-95	15-40	18-28	6-8	24-53	Buena
Aserrín	4 - 6	0.3	75-90	10-20	20-30	5-10	2-5	Mala
Cortezas de	1-5	0.27	81	38	10-20	5-10	1-5	Mala
Pino								
Cascarilla de	3 - 6	0.12	85-95	40-60	5-15	1-5	0.5	Mala
Arroz Cruda								
Cascarilla de	1-4	0.17	80-90	35-55	10-20	5-10	1-2	Regular
Arroz Quemada								
Cascarilla de	5 - 8	0.15	70-80	40-50	20-30	5-10	2-5	Mala
Café								
Cáscara de	0.2-3	0.08-0.12	82-92	30-50	20-30	2-6	1-5	Buena
Coco								
Picón o Pomina	1-8	0.9	65	52	3.6	0.7	10.5	Mala
Lana de Roca	Bloques	.07-0.1	92-95	30	50	10	5	Buena
Espuma	Bloques	.015	95-97	0-6	50-75	5-10	1-5	Buena
Fenólica								

Tabla 5.2 Resumen sobre la calificación de los sustratos

Sustrato	Tamaño de grano mm.	Estabilidad Física	Propiedades Químicas	Calidad Biológica	Retención y Aireación	Capilaridad	Densidad kg/M ³
Arena de Río	2.0	Excelente	Buenas	?	M - M	Buena	2.0
Arena de Peña	0.5	Excelente	Pésimas	Buena	E - D	Buena	2.0
Grava	10	Excelente	Buenas	Buena	D - E	Mala	2.0
Piedra	10	Buena	Regulares	Excelente	M - M	Regular	0.8
Pómez							
Ladrillo	10	Regular	Regulares	Excelente	M - M	Buena	0.8
Escoria de	10	Buena	Regulares	Excelente	M - M	Excelente	0.8
Carbón							
Carbón Coke	10 - 25	Buena	Excelentes	Excelente	B - A	Mala	0.6
Carbón de Leña	5 - 10	?	?	Excelente	?	Regular	0.5
Aserrín	4 - 6	Regular	Buenas	Buena	A - B	Buena	0.3
Casc. Arroz	3 - 6	Regular	Regulares	Regular	B - A	Pésima	0.12
Casc. Café	5 - 8	Pésima	Pésimas	?	A - ?	?	0.15
Arcill. Exp.	6 - 10	Excelente	Excelentes	Excelente	M - A	Regular	0.45

D - Deficiente B - Bajo M - Medio A - Alto E - Excesivo ? Valores inciertos

Materiales y métodos

Preparación del sustrato. La preparación del sustrato para el desarrollo del experimento con la variedad "Criollo 98" resultó una tarea de gran importancia teniendo en cuenta que el proceso tecnológico del tabaco se inicia con la selección y preparación de los suelos. Las raíces de las plantas de tabaco son muy delicadas y requieren suelos sueltos. Es por ello que el veguero rotura sus campos repetidas veces, convirtiendo la vegetación en un nutriente natural del suelo.

En la búsqueda de un sustrato artificial inerte y con las características adecuadas, se realizaron las primeras pruebas con arena sílice, pero en ningún caso se obtuvo un resultado satisfactorio, debido a que el tamaño de partícula de la arena utilizada era muy pequeño, lo que provocaba una compactación muy fuerte después del riego impidiendo entonces la adecuada oxigenación de las raíces. Al poco tiempo, las raíces se tornaban de un color carmelita y después las plantas morían irremediablemente.

Después de valorar diferentes materiales a utilizar, se obtuvieron los mejores resultados con un sustrato formado por una mezcla de arena de río, grava, cascarilla de arroz y turba. Las proporciones utilizadas fueron: 60% de arena de río, 20% de grava y 20% de turba. Como se puede apreciar, el 80% del sustrato, formado por la arena y la grava, son materiales prácticamente inertes, con un aporte muy limitado de nutrientes a la planta. El 20% de turba añadido proporciona al sustrato una pequeña cantidad de materia orgánica, necesaria para el mejor enraizamiento y posterior desarrollo de la planta.

Para la obtención de las posturas de tabaco se utilizó el procedimiento de cepellón, empleado por las empresas tabacaleras en la producción a gran escala, el cual utiliza un sustrato relativamente inerte formado a base de cáscara de arroz y turba. Las plantas de vivero fueron trasplantadas a bolsas después de los 30 días de la siembra.

Tabla 5.3 Características físicas de los materiales que conformaron el sustrato

Sustrato	Tamaño de grano mm.	Densidad aparente; kg/m³	Porosidad Total; % vol	Capacidad de Aire	Agua Fácilmente Disponible AFD % vol	Agua de Reserva; AR; % vol	Agua Difícilmente Disponible; ADD; % vol	Capilaridad
Arena de Río	0.5 - 2.0	1.4 -1.60	38-42	5-20	15-35	1-2	0.1-0.5	Buena
Grava	5 -15	1.6 - 2.0	40	36	2	1	0.1-0.5	Mala
Turba	1-2	0.08	90-95	15-40	18-28	6-8	24-53	Buena
Cascarilla de Arroz	3 - 6	0.12	85-95	40-60	5-15	1-5	0.5	Mala

Tabla 5.4 Características químicas de los materiales que conformaron el sustrato

Materiales	pH	Ceniza (%)	M.O (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	P (%)	N (%)	C (%)
Turba	3,2-4,0	2-6	85-94	6,4-9,6	4,3-6,1	3-5	-	0,6-2	49,3-54,5
Cascarilla de Arroz	-	12-13	-	0,1-0,15	0,1-0,12	0,2-0,4	0,08-0,1	5-6	-

Diseño del experimento:

Se planificaron 16 tratamientos con 10 réplicas (plantas) por tratamiento. Las características de los tratamientos se resumen a continuación:

T1- Testigo

T2- Cd 2 ppm Dosis baja, no tóxica (Vogeli-Lange and Wagner, 1990; Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006)

T3- Cd 5 ppm Dosis media, generalmente tóxica para plantas y animales. (Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006)

T4- Cd 15 ppm Dosis altamente tóxica. (Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006)

T5- Pb 20 ppm Dosis baja no tóxica, inferior a la media en suelos locales (Myung 1996; Evangelou et al., 2006).

T6- Pb 100 ppm Dosis media en relación con los contenidos en suelos no contaminados (Myung 1996; Evangelou et al., 2006).

T7- Pb 200 ppm Dosis alta (Myung 1996; Evangelou et al., 2006).

T8- Cd 2 ppm y Pb 20 ppm

T9- Cd 2 ppm y Pb 100 ppm

T10- Cd 2 ppm y Pb 200 ppm

- T11- Cd 5 ppm y Pb 20 ppm
- T12- Cd 5 ppm y Pb 100 ppm
- T13- Cd 5 ppm y Pb 200 ppm
- T14- Cd 15 ppm y Pb 20 ppm
- T15- Cd 15 ppm y Pb 100 ppm
- T16- Cd 15 ppm y Pb 200 ppm

Se prepararon disoluciones de Cadmio de 2, 5 y 15 ppm (mg/L) y de Plomo de 20, 100 y 200 ppm (mg/L). Los portadores utilizados fueron el $\text{PbAc}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y CdSO_4 . Se le adicionó EDTA, formando así portadores en forma de quelato.

Durante todo el experimento se aplicó un litro de disolución del metal pesado. Al finalizar el experimento, cada planta recibió 0, 2, 5 ó 15 mg de Cadmio y/o 0, 20, 100 ó 200 mg de Plomo. Se tomaron dos plantas completas por tratamiento para el estudio de la dinámica de asimilación de estos elementos. Las plantas fueron alimentadas artificialmente utilizando como medio de cultivo (Anexo 03) el MS (Murashige and Skoog, 1962).

Metodología utilizada para la caracterización química del sustrato. Los análisis químicos y físico-químicos del suelo, fueron realizados en el Laboratorio de suelos del MINAGRI y en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Pinar del Río. Se realizaron análisis de macro y micronutrientes en la Empresa Central de Laboratorios "JOSÉ ISAAC DEL CORRAL" en Ciudad de la Habana. Todos estos análisis se realizaron aplicando las metodologías establecidas por MINAGRI (1994) y Ansorena (1994).

Estudio de las características morfológicas de las plantas.

Determinación de los parámetros morfológicos. Altura.

Se midió la altura desde la superficie del suelo hasta el extremo de la yema apical. La lectura final se realizó a los 70 días de la plantación

Diámetro del cuello de la raíz (DCR).

Para medir el diámetro se utilizó un pie de Rey con un error de 0.05 mm.

Masa seca aérea (MSA), Masa seca radical (MSR), Masa seca total (MST).

La masa seca aérea es la masa del tallo más la masa seca de las hojas. La masa seca total comprende la masa seca aérea más la masa seca de la raíz. Las masas se obtuvieron en el laboratorio de conservación de suelo con una balanza analítica de error de 0.1 mg. Para el secado de las muestras se utilizó la estufa, a 75°C, inicialmente por una hora y después a 45°C por 48 horas hasta peso constante.

Área foliar. (cm²).

La determinación del área foliar se realizó utilizando el método gravimétrico y aplicando la siguiente fórmula:

$$Af = \frac{ldm^2 * Pf}{Pp} \quad (3)$$

Donde:

Pf = Peso de la forma de la hoja (g).

Pp = peso del decímetro cuadrado (g).

Índices morfológicos.

Relación Parte aérea/Parte radical (PA/PR).

Es la producción de materia seca concentrada en las raíces respecto al total de la planta, se determina:

$$PA/PR = \left(\frac{\text{masa_seca_del_tallo} + \text{masa_seca_de_la_hoja}}{\text{masa_seca_de_la_raíz}} \right)$$

Índices del crecimiento.

Tasa de asimilación neta (TAN) (g.cm⁻².día⁻¹).

La (TAN) es la producción de la materia seca determinada por el balance entre la fotosíntesis y la respiración, que cuantifica la biomasa producida por la superficie

fotosintetizadora por unidad de tiempo, utilizando la siguiente ecuación:

$$TAN = \frac{2(P_2 - P_1)}{(A_1 + A_2)(t_2 - t_1)} \quad (4)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Peso seco medio.

A_1 y A_2 = Área foliar media.

t_1 y t_2 = Fechas en que se realizaron las determinaciones de área foliar.

Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos efectuados, estadística descriptiva, cálculo de correlaciones, análisis de componentes principales y otros se realizaron con el paquete estadístico SPSS para Windows Versión 10 de diciembre 2001 (SPSS 10.0).

Resultados y discusión

A continuación se discute la influencia de diferentes dosis de Cadmio y Plomo en algunos parámetros morfológicos y fisiológicos de la planta de tabaco variedad Criollo 98. En la Tabla 5.5 se resumen los parámetros altura de la planta, área foliar, producción de masa seca y contenido total de clorofila.

Tabla 5.5.- Indicadores morfológicos y fisiológicos de la planta de tabaco.

Tratamientos	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	m (g) Raíz	m (g) Tallo	m (g) Hojas	m (g) Total	Clorofila Total mg/g m(seca)
Cd 0 Pb 0	66,9a	183,1a	16,0a	23,6 ^a	34,9 ^a	74,5a	22,9a
Cd 2 Pb 0	65,9ab	174,0b	15,6ab	22,3b	32,0c	69,9b	21,4b
Cd 5 Pb 0	64,2c	155,6d	15,1bc	21,4cd	31,1c	67,6c	17,4e
Cd 15 Pb 0	55,3i	132,4f	14,0d	19,3f	25,5e	58,8f	13,7g
Cd 0 Pb 20	65,6b	164,7c	15,4abc	21,6c	33,4b	70,3b	22,8a
Cd 0 Pb 100	63,1d	139,5e	14,9bc	21,1cde	31,5c	67,5c	22,0b
Cd 0 Pb 200	62,0de	123,5g	12,8e	20,7de	29,4d	62,9e	20,5c
Cd 2 Pb 20	64,2c	137,7e	14,6cd	20,7de	30,0d	65,3d	21,5b
Cd 2 Pb 100	61,9ef	130,4f	12,9e	20,7de	29,5d	63,1e	19,8d
Cd 2 Pb 200	60,8fg	120,9g	12,5e	20,5e	25,5e	58,5f	17,7e
Cd 5 Pb 20	60,3gh	122,1g	12,6e	18,8f	24,5ef	55,9g	17,3e
Cd 5 Pb 100	59,7gh	116,7h	11,3f	16,6g	23,6f	51,5h	15,7f
Cd 5 Pb 200	59,4h	102,9i	11,0fg	15,6h	23,5f	50,1h	15,7f
Cd 15 Pb 20	57,1i	103,9i	11,2f	12,8i	20,8g	44,8i	13,6gh
Cd 15 Pb 100	54,3j	97,5j	10,3g	12,4i	19,6h	42,3j	13,0h
Cd 15 Pb 200	52,5k	87,5k	10,4g	11,5j	16,8i	38,7kl	11,2i
Std. Dev	4,32	27,02	2,06	3,75	5,26	10,60	3,74
Std. Error	0,34	2,14	0,16	0,30	0,42	0,84	0,30

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan.

Resulta evidente como un incremento en los niveles de cadmio produce un mayor efecto en el parámetro estudiado que el incremento en los niveles de Plomo. Un análisis más detallado se realiza a continuación.

En la Figura 5.1 se aprecia como a medida que se incrementa el contenido de Cadmio (0 ppm, 2 ppm, 5 ppm y 15 ppm) la altura de las plantas disminuye significativamente, fundamentalmente en los tratamientos con 5 y 15 ppm respectivamente. Se conoce de la elevada fitotoxicidad de este elemento, el cual incide negativamente en el crecimiento

de la raíz, además de provocar aberraciones en los cromosomas (Soumitra et al., 1998; Fojta et al., 2006). En el tratamiento con 2 ppm de Cadmio no se observan diferencias significativas con el testigo, lo que pone de manifiesto que para bajas concentraciones, este elemento no resulta tóxico para la planta. Resultados similares fueron obtenidos por Vogeli-Lange y Wagner, (1990); Soumitra et al., (1998) y Fojta et al., (2006).

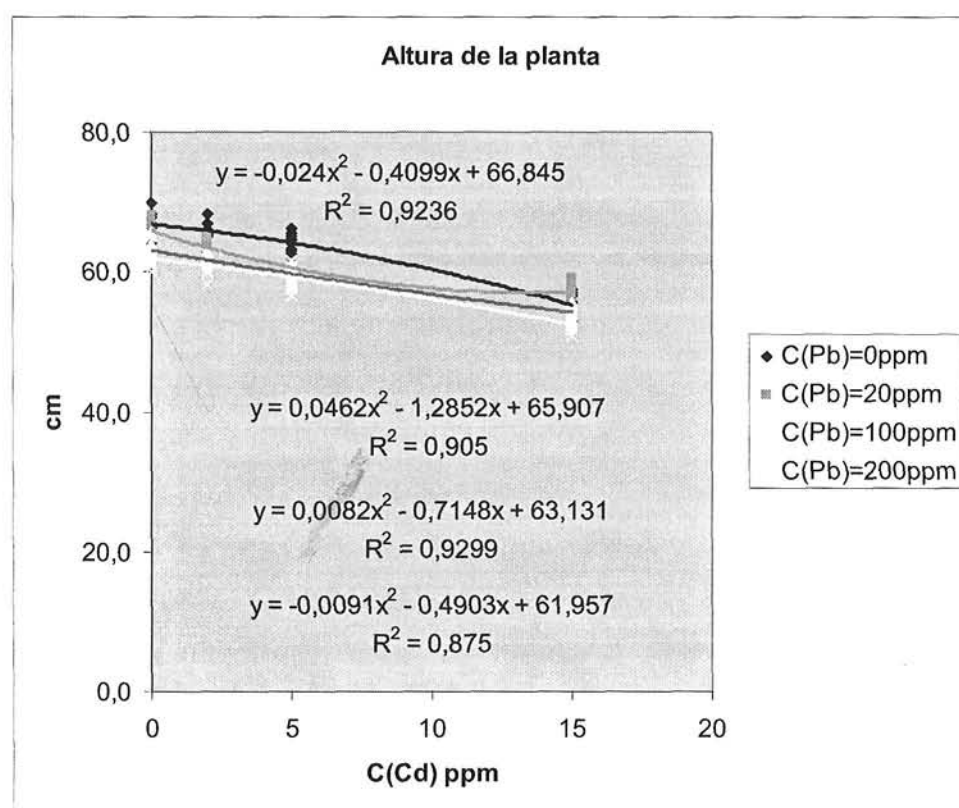


Figura 5.1 Influencia de diferentes niveles de Cd en el crecimiento de la planta.

Se realizó un análisis de regresión, relacionando el crecimiento de la planta con la concentración de Cadmio en el sustrato. Se encontró que la ecuación que más se ajustaba era una ecuación de segundo grado, siendo los coeficientes de regresión superiores a 0,9, excepto en el tratamiento de Cadmio con 200 ppm de Plomo.

En relación con el resto de las variables estudiadas, Área foliar, masa seca de las diferentes partes de la planta, se observa un comportamiento similar al analizado en

relación con la altura. El análisis de regresión realizado demostró que en todos los casos, la ecuación que más se ajustaba era una ecuación de segundo grado, con coeficientes de regresión relativamente elevados.

En la Figura 5.2 se muestra como un incremento en los niveles de Cadmio afecta el área foliar de la planta. Se aprecia una disminución significativa del área foliar con el incremento de la concentración de Cadmio en el sustrato.

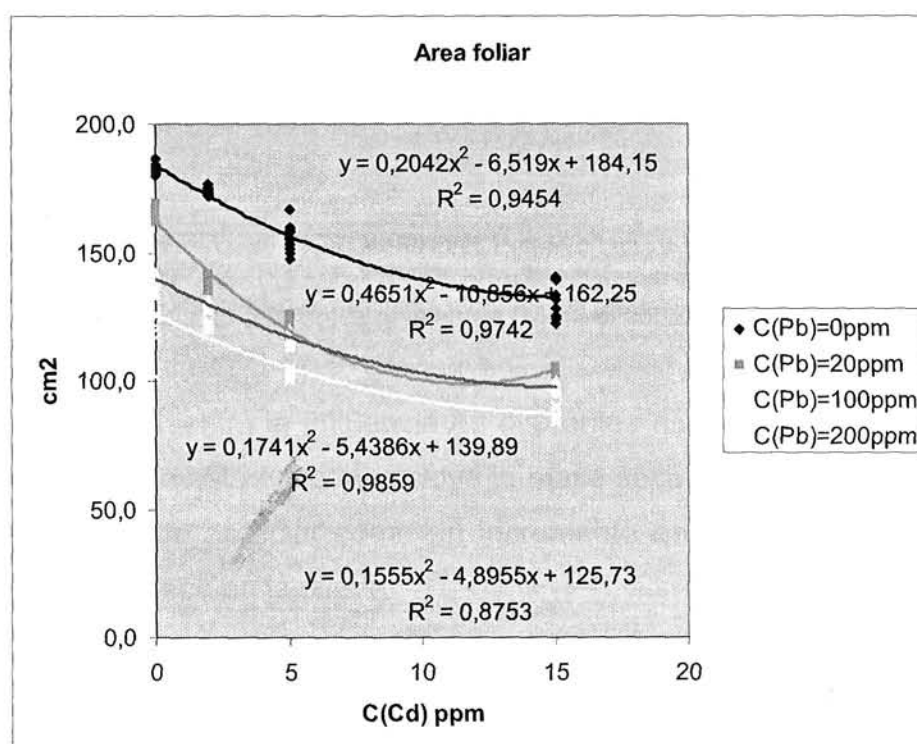


Figura 5.2 Influencia de diferentes niveles de Cd en el Área foliar de la planta.

La influencia del Plomo será analizada más adelante, pero resulta evidente, del análisis de la figura anterior, como la presencia de este elemento incide en el área foliar de la planta.

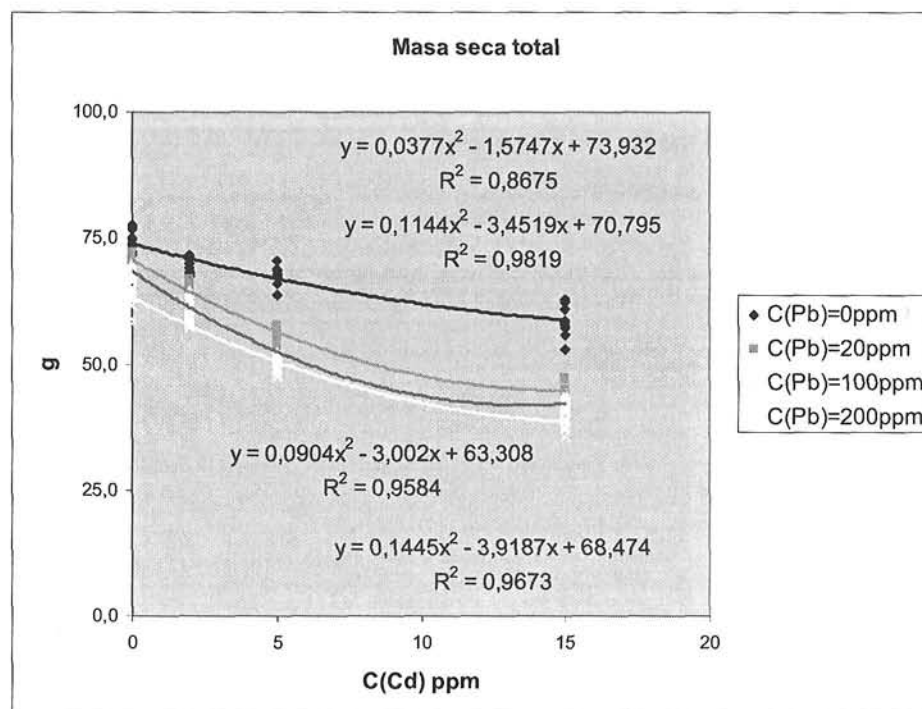


Figura 5.3 Influencia de diferentes niveles de Cd en el contenido total de masa seca.

En la Figura 5.3 se muestra la influencia de diferentes niveles de Cd en la producción de masa seca total. En este caso se incluye la masa seca de la raíz, el tallo y las hojas de la planta. Se puede apreciar como un incremento en los niveles de Cd afecta la producción de masa seca en la planta

De igual forma, en la Figura 5.4 se muestra la influencia del incremento de los niveles de Cadmio en el sustrato con la producción de clorofila por la planta. Se aprecia como la producción de clorofila de la planta no se afecta cuando se aplican 20 ppm de Plomo, es decir, no existen diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento con 20 ppm de Pb. Las ecuaciones de regresión obtenidas prácticamente no difieren entre si.

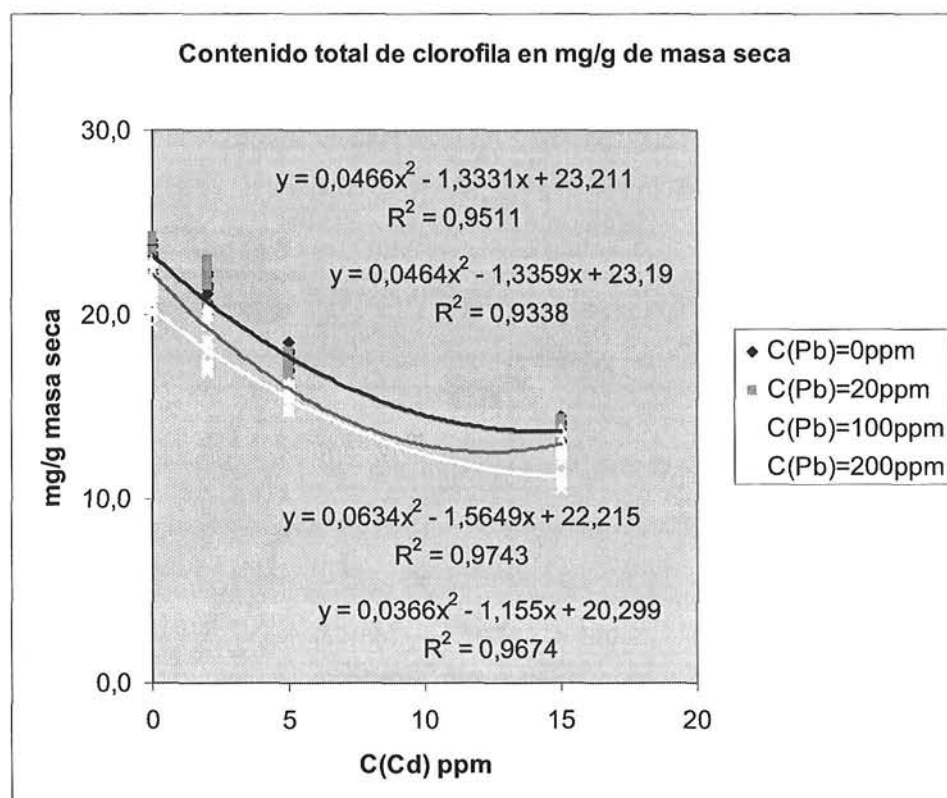


Figura 5.4 Contenido total de clorofila para diferentes niveles de Cd.

Este comportamiento es diferente cuando se mantienen constantes las concentraciones de Cadmio y se varía la concentración de Plomo en la solución nutritiva. En estos casos los coeficientes de regresión son significativamente inferiores. Se muestran las ecuaciones y coeficientes de regresión respectivos. Los coeficientes de regresión en los experimentos donde se estudia la influencia del Pb fueron marcadamente más bajos, debido al efecto tóxico del Cadmio, entre otros factores.

A analizar la influencia del Plomo en la altura de la planta, manteniendo constante los niveles de Cadmio se aprecia un comportamiento diferente, notándose una influencia mas marcada de los niveles constantes de Cd que la variabilidad del Pb. En la Figura 5.5 se puede apreciar este efecto.

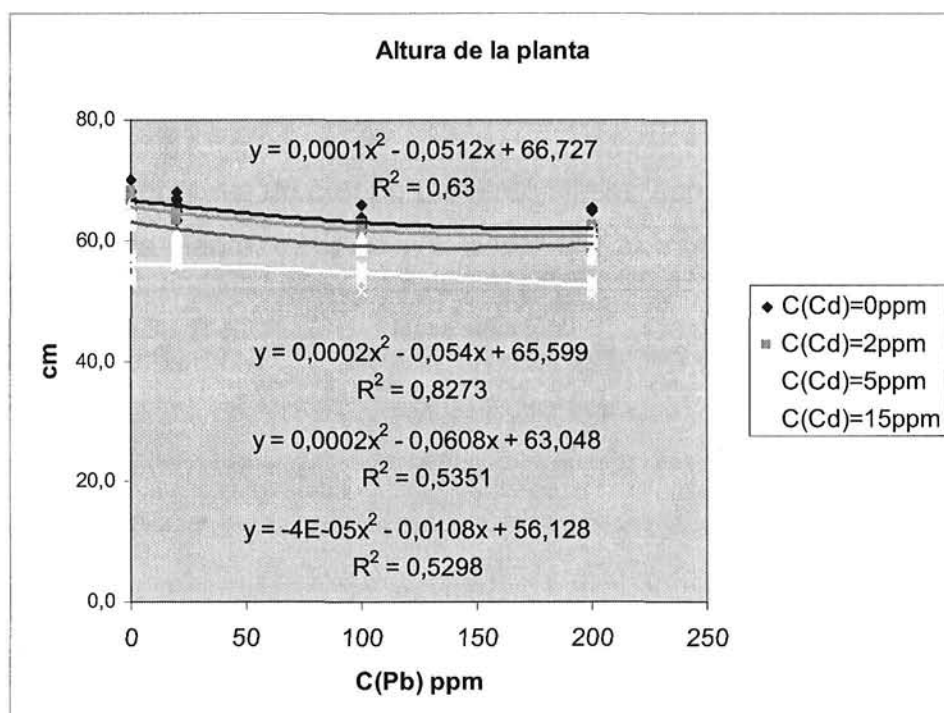


Figura 5.5 Influencia de diferentes niveles de Pb en el crecimiento de la planta.

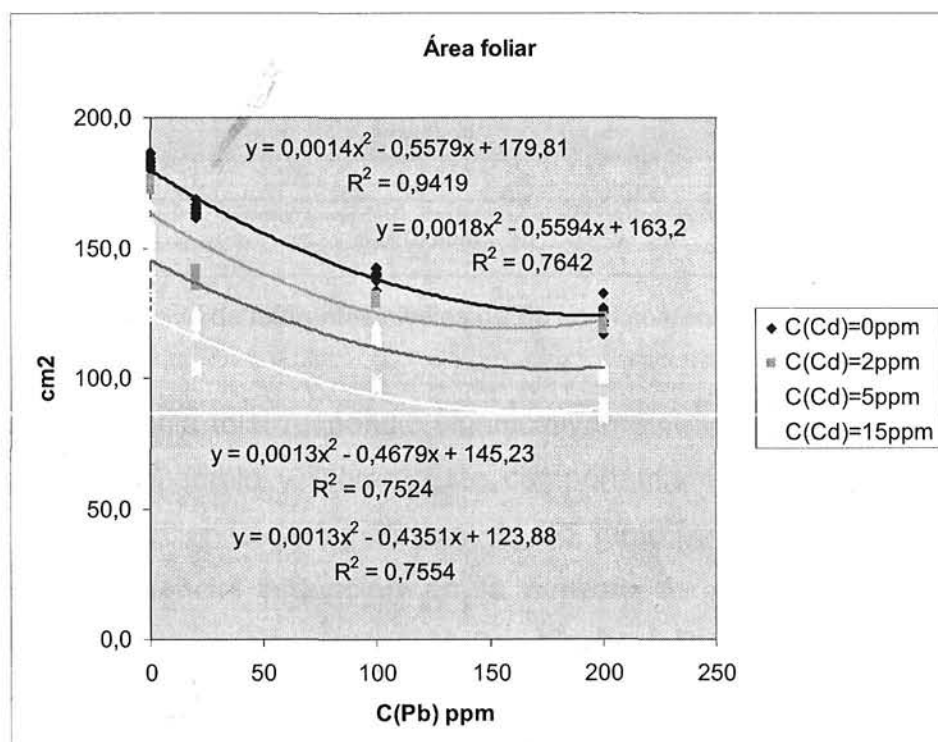


Figura 5.6 Influencia de diferentes niveles de Pb en el área foliar de la planta.

En la Figura 5.6 se puede apreciar como ambos factores, los niveles de Cd y los niveles de Pb influyen en el desarrollo foliar de la planta.

En la Figura 5.7 se observa un comportamiento similar con respecto a la producción de masa seca total de la planta.

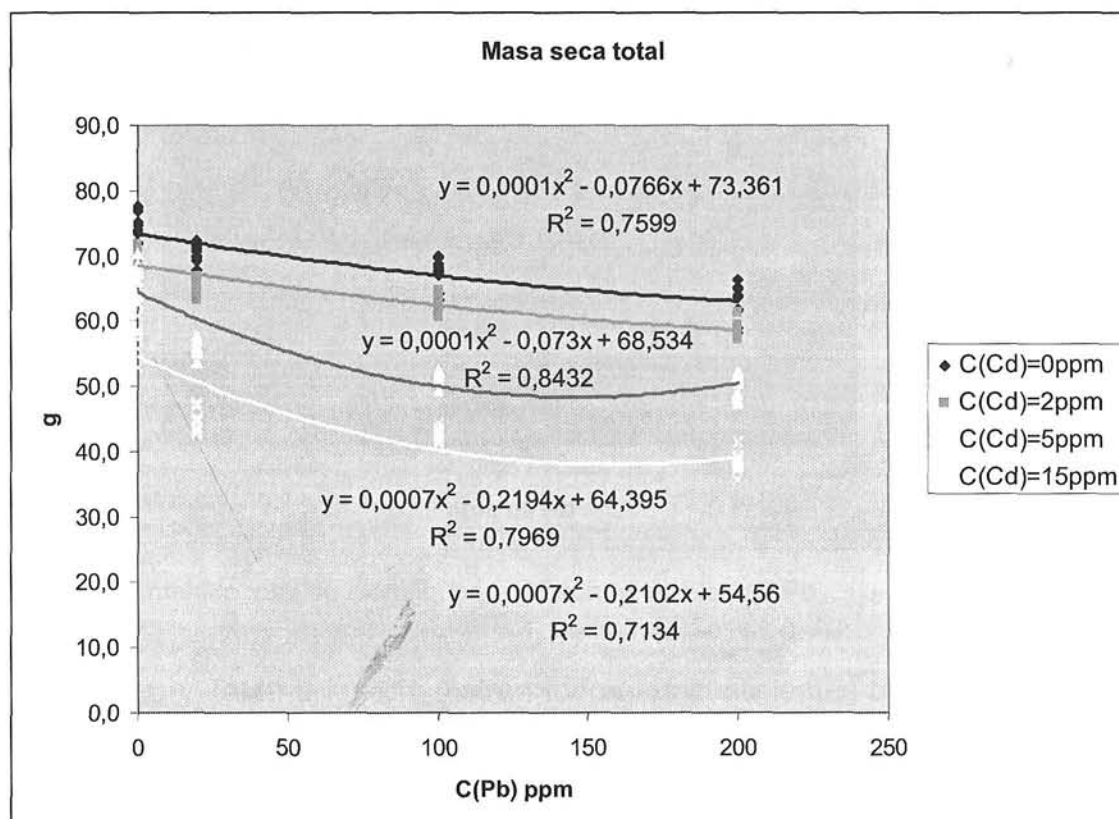


Figura 5.7 Influencia de diferentes niveles de Pb en el contenido total de masa seca.

El contenido de clorofila total respondió significativamente a la aplicación de diferentes concentraciones de Cadmio y Plomo. Este comportamiento se puede apreciar en la Figura 5.8. Las aplicaciones de 5 y 15 ppm de Cd, tanto solo como asociado al Plomo, produjeron una sustancial reducción en la síntesis de clorofila por la planta. La presencia de metales pesados como el Cadmio y el Plomo inducen una marcada disminución en el contenido total de clorofila. Este comportamiento fue explicado por Larsson et al., (1998) y Shevchenko et al., (2004) los cuales concluyeron que se producía debido fundamentalmente a la degradación de la clorofila a.

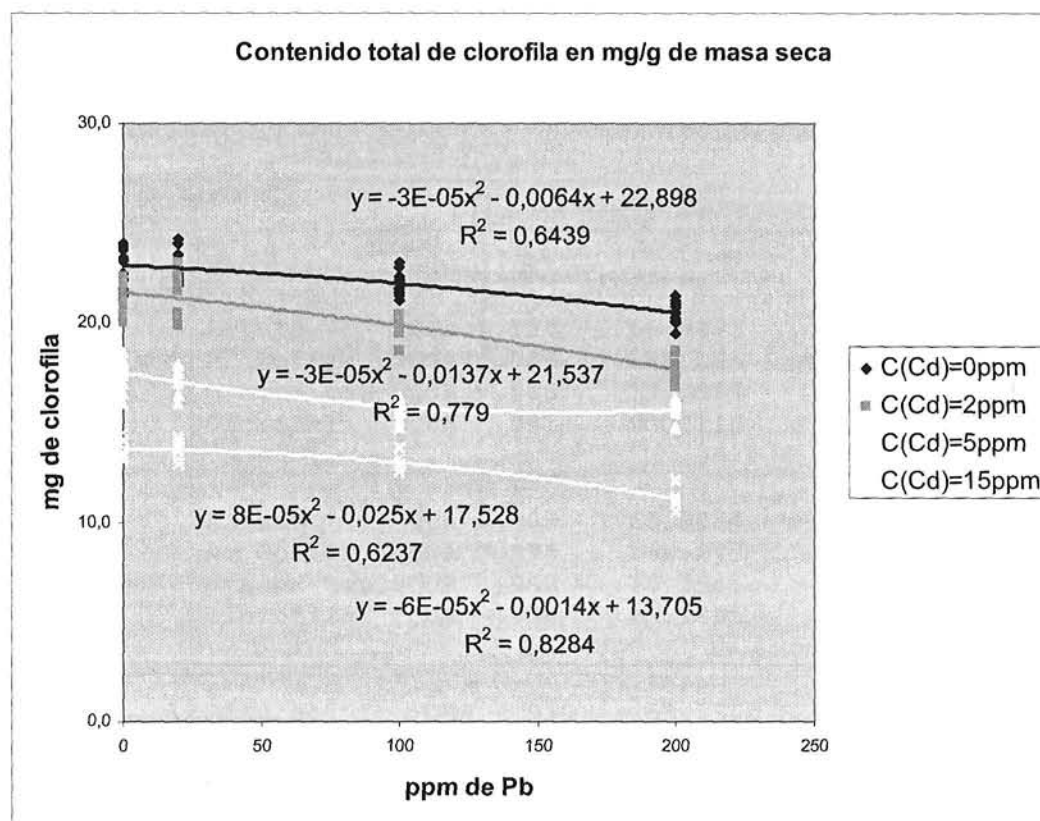


Figura 5.8 Contenido total de clorofila para diferentes niveles de Pb

En la Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se muestran todos los coeficientes de regresión, así como los coeficientes de las ecuaciones obtenidas para cada tratamiento. En todos los casos la ecuación que mas se ajustaba era una ecuación de segundo grado.

Tabla 5.6 Coeficientes de regresión y ecuaciones de regresión para las variables estudiadas, manteniendo constante la concentración de Pb y variando las concentraciones de Cd.

Tratamiento	Ecuación $Y=b_2X^2 + b_1X + b_0$					
Cadmio	Variable	Mth	R ²	b0	b1	b2
Pb 0 ppm	Altura	QUA	,924	66,8446	-,4099	-,0240
	A. Foliar	QUA	,945	184,145	-6,5190	,2042
	M seca tot.	QUA	,868	73,9318	-1,5747	,0377
	Clorofila	QUA	,951	23,2115	-1,3331	,0466
Pb 20 ppm	Altura	QUA	,905	65,9074	-1,2852	,0462
	A. Foliar	QUA	,974	162,247	-10,856	,4651
	M seca tot.	QUA	,982	70,7945	-3,4519	,1144
	Clorofila	QUA	,934	23,1895	-1,3359	,0464
Pb 100 ppm	Altura	QUA	,930	63,1305	-,7148	,0082
	A. Foliar	QUA	,986	139,886	-5,4386	,1741
	M seca tot.	QUA	,967	68,4745	-3,9187	,1445
	Clorofila	QUA	,974	22,2148	-1,5649	,0634
Pb 200 ppm	Altura	QUA	,875	61,9572	-,4903	-,0091
	A. Foliar	QUA	,875	125,731	-4,8955	,1555
	M seca tot.	QUA	,958	63,3082	-3,0020	,0904
	Clorofila	QUA	,967	20,2986	-1,1550	,0366

Tabla 5.7 Coeficientes de regresión y ecuaciones de regresión para las variables estudiadas, manteniendo constante la concentración de Cd y variando las concentraciones de Pb.

Tratamiento	Ecuación $Y=b_2X^2 + b_1X + b_0$					
Plomo	Variable	Mth	R ²	b0	b1	b2
Cd 0 ppm	Altura	QUA	,630	66,7267	-,0512	,0001
	A. Foliar	QUA	,942	179,807	-,5579	,0014
	M seca tot.	QUA	,760	73,3606	-,0766	,0001
	Clorofila	QUA	,644	22,8982	-,0064	-3,E-05
Cd 2 ppm	Altura	QUA	,827	65,5990	-,0540	,0002
	A. Foliar	QUA	,764	163,201	-,5594	,0018
	M seca tot.	QUA	,843	68,5340	-,0730	,0001
	Clorofila	QUA	,779	21,5366	-,0137	-3,E-05
Cd 5 ppm	Altura	QUA	,535	63,0483	-,0608	,0002
	A. Foliar	QUA	,752	145,231	-,4679	,0013
	M seca tot.	QUA	,797	64,3949	-,2194	,0007
	Clorofila	QUA	,624	17,5277	-,0250	7,8E-05
Cd 15ppm	Altura	QUA	,530	56,1275	-,0108	-4,E-05
	A. Foliar	QUA	,755	123,883	-,4351	,0013
	M seca tot.	QUA	,713	54,5605	-,2102	,0007
	Clorofila	QUA	,828	13,7049	-,0014	-6,E-05

Estudio de la acumulación de Cadmio y Plomo en la planta de tabaco.

En la Tabla 5.8 se muestran los contenidos de Cadmio acumulados en las diferentes partes de la planta de tabaco, considerando 4 niveles de Plomo, 0, 20, 100 y 200 ppm de este metal pesado. Los resultados muestran que la planta responde, ante un aumento de los niveles de Cadmio en el sustrato, aumentando la asimilación de este elemento en las diferentes partes de la planta. Resulta significativo que la mayor parte del Cadmio se acumula en la raíz y en las hojas inferiores de la planta, es decir en la Libre pie y en el Uno y medio, no obstante se determina en toda la planta. El Cadmio, similar al Zinc, es un elemento que puede ser rápidamente asimilado por la planta pudiéndose encontrar cantidades relativamente altas de este elemento en la misma (Angelova et al., 2004)

Tabla 5.8 Contenidos de Cd en las diferentes partes de la planta de tabaco.

C(Pb) ppm	C(Cd) ppm	Raíz mg/kg	Tallo mg/kg	Libre pie mg/kg	Uno y medio mg/kg	Centro mg/kg	Corona mg/kg
0 ppm	0	0,09d	0,06c	0,09d	0,08d	0,06d	0,05d
	2	6,49c	7,25b	20,35c	6,35c	4,30c	3,10c
	5	14,60b	7,75b	41,25b	13,65b	5,20b	3,80b
	15	21,55a	11,10a	69,90a	22,05a	11,05a	7,55a
20 ppm	0	0,09d	0,06d	0,09d	0,09d	0,06d	0,06d
	2	6,90c	7,35c	21,00c	7,53c	4,85c	3,65c
	5	15,00b	8,10b	42,08b	14,70b	5,93b	4,08b
	15	20,78a	11,23a	71,70a	23,25a	10,35a	7,73a
100 ppm	0	0,08d	0,06d	0,09d	0,09d	0,06d	0,05c
	2	7,35c	6,75c	21,20c	6,95c	5,20c	3,90b
	5	14,63b	8,05b	42,95b	13,80b	6,15b	4,28b
	15	20,78a	11,55a	71,18a	21,80a	10,80a	7,30a
200 ppm	0	0,09d	0,06d	0,09d	0,08d	0,06c	0,05d
	2	7,20c	2,90c	31,50c	7,05c	5,70b	3,40c
	5	15,00b	7,90b	43,68b	14,00b	6,30b	4,10b
	15	20,98a	12,05a	71,70a	22,65a	11,00a	7,55a

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan.

Se realizó un análisis de regresión a partir de las cantidades de cadmio suministradas en la solución nutritiva y la presencia de este elemento en las diferentes partes de la planta. Se encontró que la ecuación que mejor ajustaba es una ecuación de segundo

grado del tipo $Y = aX^2 + bX + c$, obteniéndose coeficientes de regresión superiores a 0,9. Resultados similares fueron encontrados por Angelova et al. (2004).

En la Figura 5.9 se observan las curvas obtenidas, así como los coeficientes de regresión para este experimento. Se obtuvieron gráficos similares para concentraciones de Plomo de 20, 100 y 200 ppm

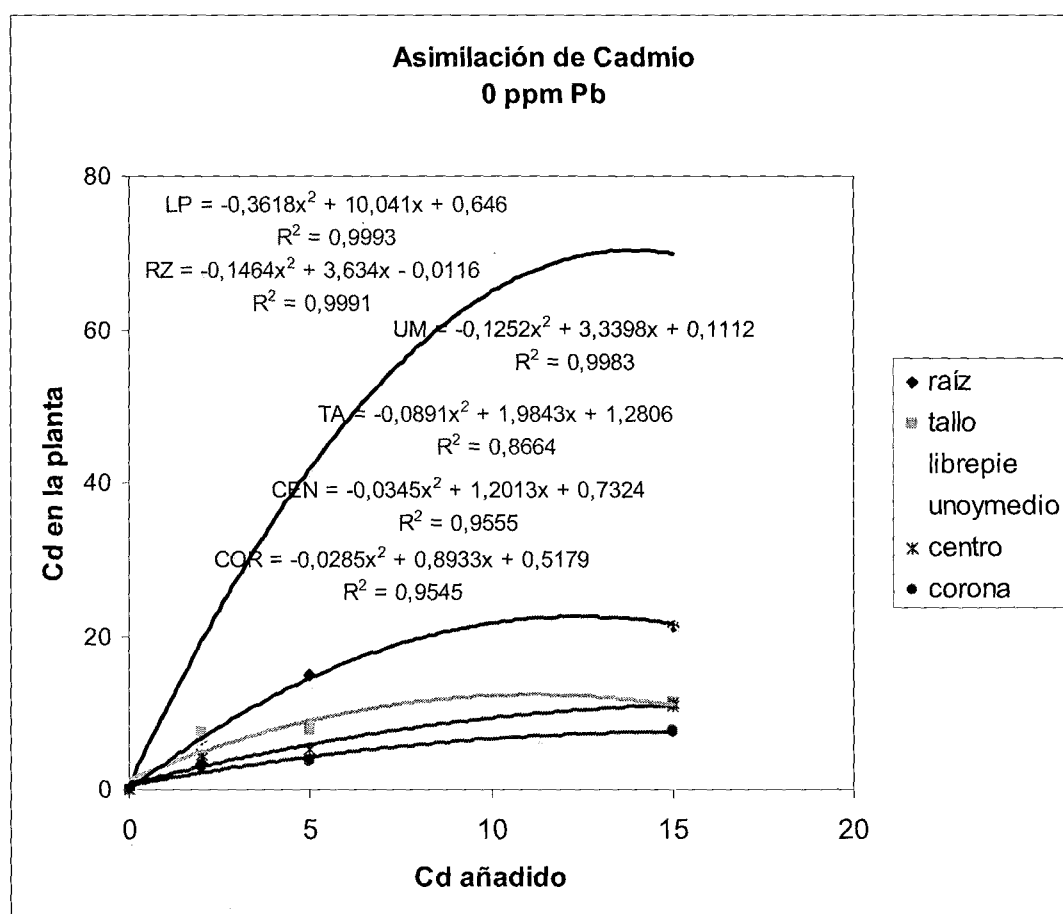


Figura 5.9 Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 0 ppm de Plomo en el sustrato

Los gráficos obtenidos para concentraciones de Plomo de 20, 100 y 200 ppm tienen características similares y se muestran en el Anexo 04.

Los coeficientes de regresión y los coeficientes de las ecuaciones de regresión de segundo grado obtenidas se muestran en la Tabla 5.9. En esta Tabla se puede observar que en todos los casos se obtienen coeficientes de regresión altos, lo que indica la respuesta de la planta al incremento, en este caso, de las concentraciones de Cadmio

Tabla 5.9 Coeficientes de regresión y ecuaciones de regresión para las variables estudiadas, manteniendo constante la concentración de Pb y variando las concentraciones de Cd.

Tratamiento	Ecuación $Y=b_2X^2 + b_1X + b_0$					
Cadmio	Variable	Mth	R ²	b0	b1	b2
Pb 0 ppm	A_RAIZ	QUA	,999	-,0116	3,6340	-,1464
	A_TALLO	QUA	,866	1,2806	1,9843	-,0891
	A_LIBREP	QUA	,999	,6460	10,0410	-,3618
	A_UNYMED	QUA	,998	,1112	3,3398	-,1252
	A_CENTRO	QUA	,956	,7324	1,2013	-,0345
	A_CORONA	QUA	,955	,5179	,8933	-,0285
Pb 20 ppm	B_RAIZ	QUA	,999	,0510	3,7821	-,1600
	B_TALLO	QUA	,877	1,2588	2,0829	-,0950
	B_LIBREP	QUA	,999	,7448	10,2320	-,3670
	B_UNYMED	QUA	,998	,3435	3,6216	-,1397
	B_CENTRO	QUA	,939	,7813	1,4439	-,0540
	B_CORONA	QUA	,927	,6657	,9723	-,0337
Pb 100 ppm	C_RAIZ	QUA	,998	,2560	3,6815	-,1543
	C_TALLO	QUA	,914	1,0655	2,0516	-,0905
	C_LIBREP	QUA	,999	,6517	10,5087	-,3873
	C_UNYMED	QUA	,999	,2879	3,3979	-,1310
	C_CENTRO	QUA	,933	,8659	1,4994	-,0561
	C_CORONA	QUA	,906	,7051	1,0493	-,0409
Pb 200 ppm	D_RAIZ	QUA	,999	,1507	3,7805	-,1595
	D_TALLO	QUA	,995	-,1994	1,9445	-,0751
	D_LIBREP	QUA	,967	4,0042	10,8290	-,4224
	D_UNYMED	QUA	,999	,2939	3,4313	-,1295
	D_CENTRO	QUA	,912	1,0109	1,5430	-,0588
	D_CORONA	QUA	,943	,5664	,9851	-,0348

En la Tabla 5.10 se muestran los contenidos de Plomo acumulados en las diferentes partes de la planta de tabaco, considerando 4 niveles de Cadmio: 0, 2, 5 y 15 ppm de este metal pesado. Los resultados muestran que la planta responde, ante un aumento de los niveles de Plomo en el sustrato, aumentando la asimilación de este elemento en las diferentes partes de la planta, sin embargo este incremento es bastante limitado si se compara con las cantidades de plomo suministradas en la solución nutritiva. Estos resultados se corresponden con lo planteado por Kabata Pendias, (1984) y Angelova et al., (2004). Según estos autores, solo pequeñas cantidades del Plomo total presente en el sustrato es asimilado por las plantas y su traslocación desde las raíces hasta las hojas superiores es generalmente limitada.

Tabla 5.10 Contenidos de Pb en las diferentes partes de la planta de tabaco.

C(Cd) ppm	C(Pb) ppm	Raíz mg/kg	Tallo mg/kg	Libre pie mg/kg	Uno y medio mg/kg	Centro mg/kg	Corona mg/kg
0 ppm	0	1,35d	0,48d	1,63d	0,85d	0,17d	0,07d
	20	20,25c	15,50c	26,85c	9,95c	9,20c	8,30c
	100	50,05b	26,35b	63,40b	25,60b	17,75b	15,35b
	200	55,60a	28,10a	69,45a	27,10a	19,45a	16,75a
2 ppm	0	1,39d	0,49d	1,68d	0,88d	0,17c	0,07d
	20	18,85c	15,30c	24,30c	12,75c	10,40b	6,50c
	100	47,10b	27,45b	65,10b	26,45b	15,25a	10,20b
	200	56,08a	28,88a	71,75a	27,98a	15,50a	11,35a
5 ppm	0	1,55d	0,54d	1,65d	1,15d	0,17c	0,07c
	20	17,40c	15,50c	25,75c	9,10c	10,25b	8,25b
	100	46,35b	27,35b	65,13b	26,98b	15,75a	10,53a
	200	56,10a	29,53a	70,68a	28,35a	15,65a	11,25a
15 ppm	0	1,60d	0,79d	1,68d	0,85d	0,17d	0,07d
	20	20,05c	16,50c	27,15c	11,00c	9,25c	6,35c
	100	47,20b	27,90b	65,95b	26,60b	15,55b	10,93b
	200	56,35a	29,45a	72,25a	28,55a	16,50a	11,50a

Se realizó un análisis de regresión a partir de las cantidades de Plomo suministradas en la solución nutritiva y la presencia de este elemento en las diferentes partes de la planta. Se encontró que la ecuación que mejor ajustaba es una ecuación de segundo grado del tipo $Y = aX^2 + bX + c$, obteniéndose coeficientes de regresión altos, pero inferiores a los obtenidos para el Cadmio. Estos resultados también concuerdan con los encontrados por Angelova et al. (2004).

En la Figura 5.10 se observan las curvas obtenidas, así como los coeficientes de regresión para este experimento. Se obtuvieron gráficos similares para concentraciones de Cadmio de 2, 5 y 15 ppm

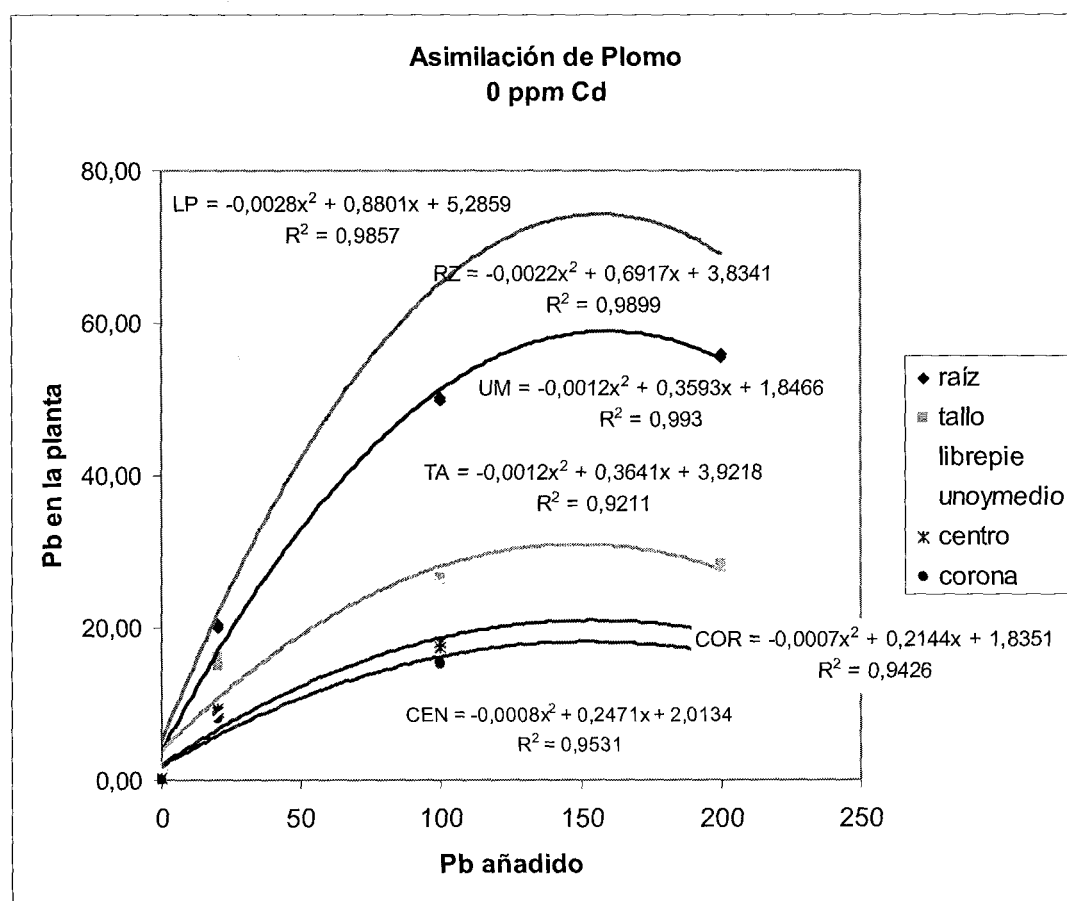


Figura 5.10 Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 0 ppm de Cadmio en el sustrato

Los gráficos obtenidos para concentraciones de Cadmio de 2, 5 y 15 ppm tienen características similares y se muestran en el Anexo 04.

Los coeficientes de regresión y los coeficientes de las ecuaciones de regresión de segundo grado obtenidas se muestran en la Tabla 5.11. En esta Tabla se puede observar que en todos los casos se obtienen coeficientes de regresión altos, lo que indica la respuesta de la planta al incremento, en este caso, de las concentraciones de Plomo.

Tabla 5.11 Coeficientes de regresión y ecuaciones de regresión para las variables estudiadas, manteniendo constante la concentración de Cd y variando las concentraciones de Pb.

Tratamiento	Ecuación $Y=b_2X^2 + b_1X + b_0$					
Plomo	Variable	Mth	R ²	b0	b1	b2
Cd 0 ppm	A_RAIZ	QUA	,990	3,8341	,6917	-,0022
	A_TALLO	QUA	,921	3,9218	,3641	-,0012
	A_LIBREP	QUA	,986	5,2859	,8801	-,0028
	A_UNYMED	QUA	,993	1,8466	,3593	-,0012
	A_CENTRO	QUA	,953	2,0134	,2471	-,0008
	A_CORONA	QUA	,943	1,8351	,2144	-,0007
Cd 2 ppm	B_RAIZ	QUA	,991	3,7310	,6304	-,0018
	B_TALLO	QUA	,937	3,6997	,3830	-,0013
	B_LIBREP	QUA	,995	4,0242	,9077	-,0029
	B_UNYMED	QUA	,971	2,9796	,3666	-,0012
	B_CENTRO	QUA	,857	2,7932	,2133	-,0008
	B_CORONA	QUA	,894	1,6706	,1391	-,0005
Cd 5 ppm	C_RAIZ	QUA	,995	3,3282	,6153	-,0018
	C_TALLO	QUA	,933	3,8594	,3765	-,0013
	C_LIBREP	QUA	,991	4,5968	,9113	-,0029
	C_UNYMED	QUA	,999	1,3048	,3830	-,0012
	C_CENTRO	QUA	,877	2,6514	,2232	-,0008
	C_CORONA	QUA	,783	2,3778	,1430	-,0005
Cd 15ppm	D_RAIZ	QUA	,987	4,3914	,6258	-,0018
	D_TALLO	QUA	,921	4,3740	,3830	-,0013
	D_LIBREP	QUA	,988	5,1488	,9172	-,0029
	D_UNYMED	QUA	,990	2,4034	,3664	-,0012
	D_CENTRO	QUA	,915	2,2806	,2166	-,0007
	D_CORONA	QUA	,922	1,4969	,1537	-,0005

En relación con lo expuesto anteriormente se debe señalar que en cuanto a la propiedad de acumular Cadmio, se han observado diferencias significativas entre las diferentes variedades de tabaco. Por ejemplo, la *Nicotiana rustica* y la *Nicotiana rutifolia* tienen como característica de acumular grandes cantidades de cadmio en las raíces y bajas cantidades en las hojas, mientras que la *Nicotiana tabacum* es altamente acumuladora tanto en las hojas como en las raíces de la planta (Wagner et al., 1986). La variedad estudiada en este trabajo, *Criollo 98*, pertenece a la especie *Nicotiana tabacum*, lo que confirma los resultados experimentales obtenidos, considerando que los niveles de Cadmio encontrado en las raíces son tan elevados como los encontrados en las hojas basales de la planta.

A manera de resumen, a continuación se muestran los gráficos que ilustran la asimilación de Cadmio y Plomo por las diferentes partes de la planta. Resulta interesante resaltar lo que se aprecia en las Figuras 20 y 22. En ambos casos se muestra como un incremento en los niveles de Cadmio conduce a una disminución importante en los niveles de asimilación del Plomo en las hojas del Centro y la Corona, es decir, en estos casos resulta mucho más difícil que el Plomo alcance las hojas más altas en la planta.

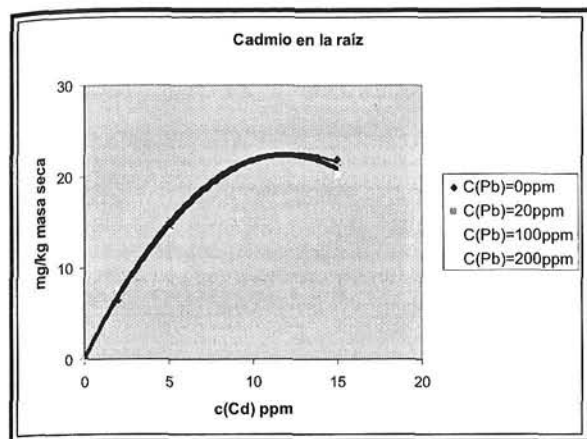


Figura 11 Cadmio en la Raíz

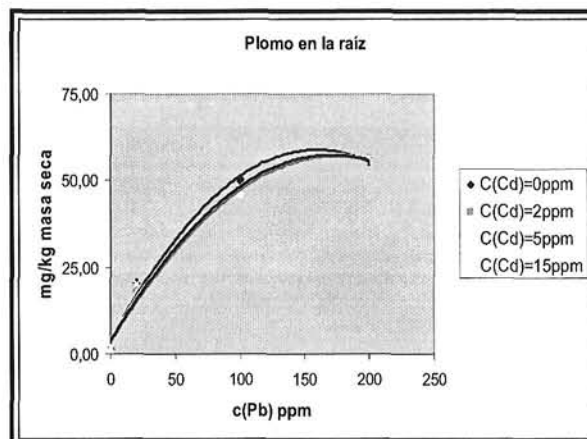


Figura 12 Plomo en la Raíz

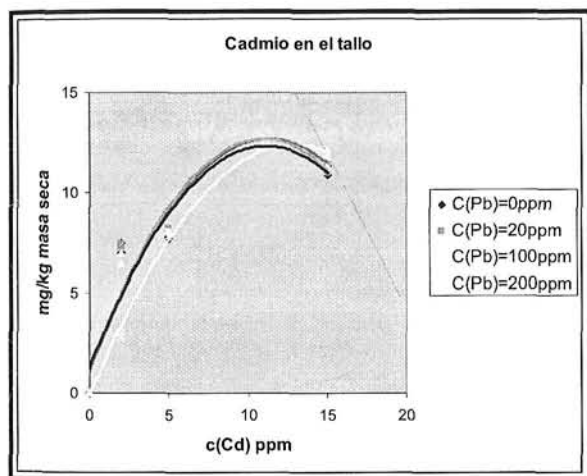


Figura 13 Cadmio en el Tallo

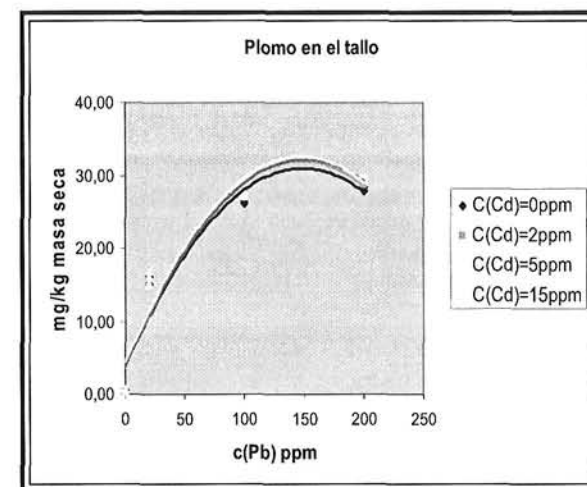


Figura 14 Plomo en el Tallo

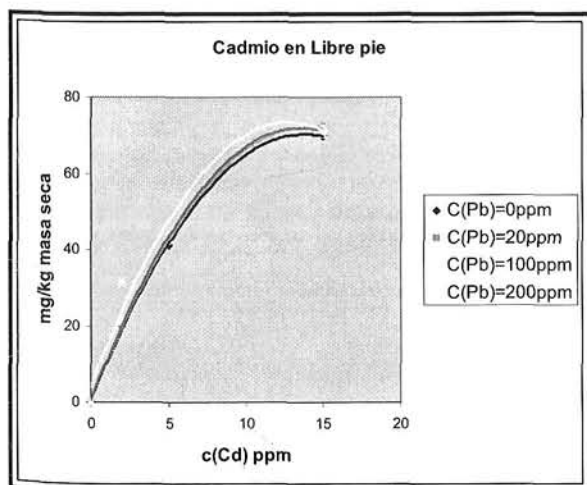


Figura 15 Cadmio en Libre pie

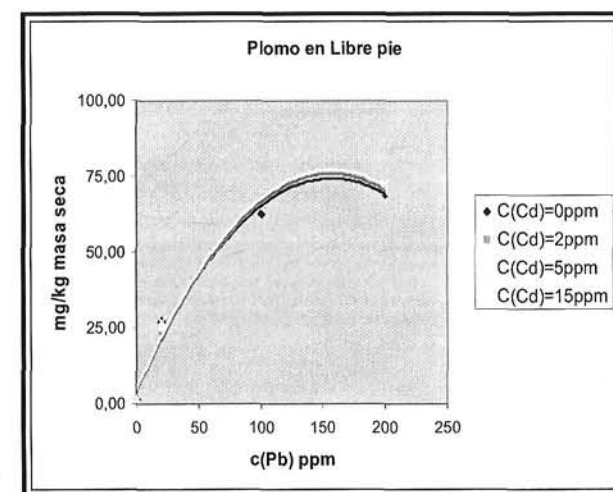


Figura 16 Plomo en Libre pie

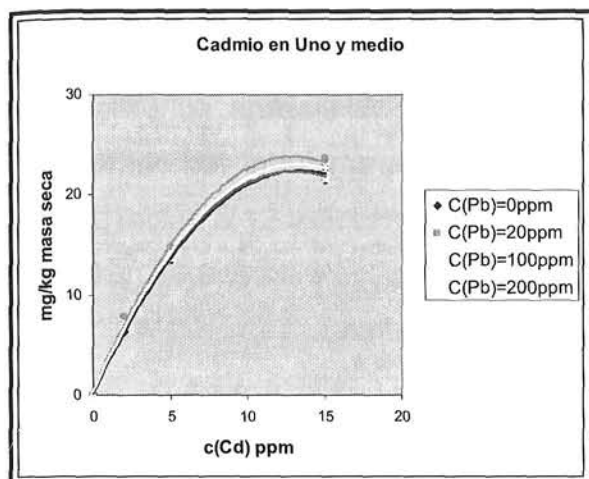


Figura 17 Cadmio en Uno y medio

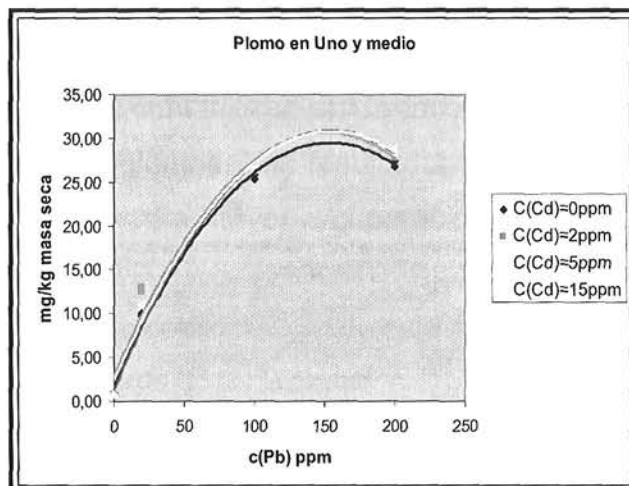


Figura 18 Plomo en Uno y medio

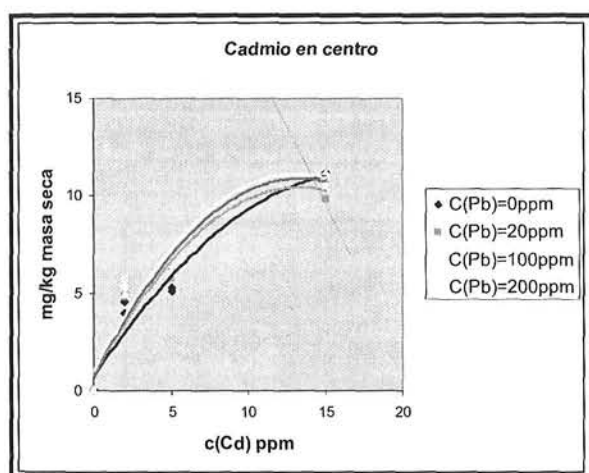


Figura 19 Cadmio en Centro

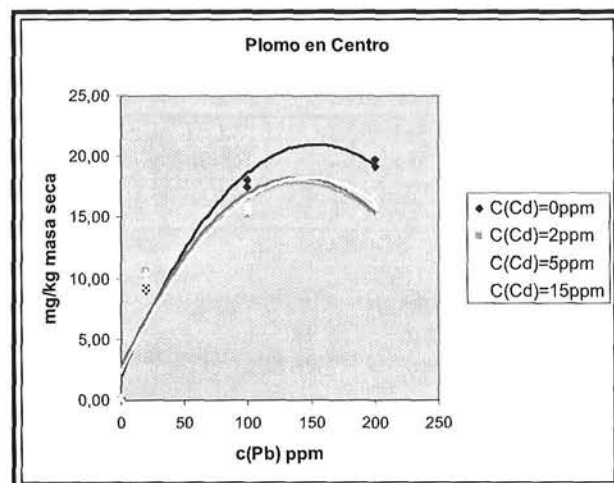


Figura 20 Plomo en Centro

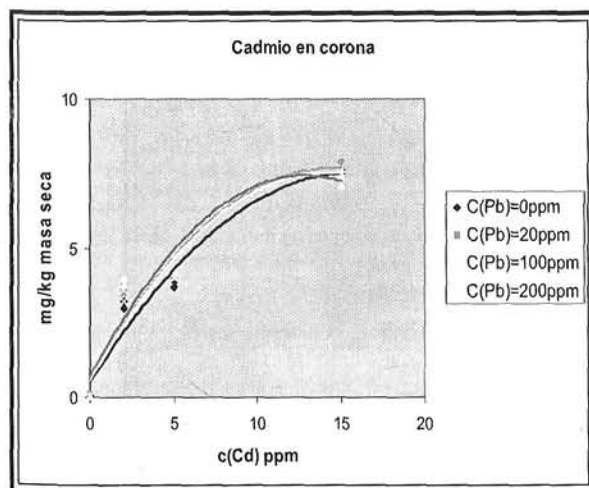


Figura 21 Cadmio en la Corona

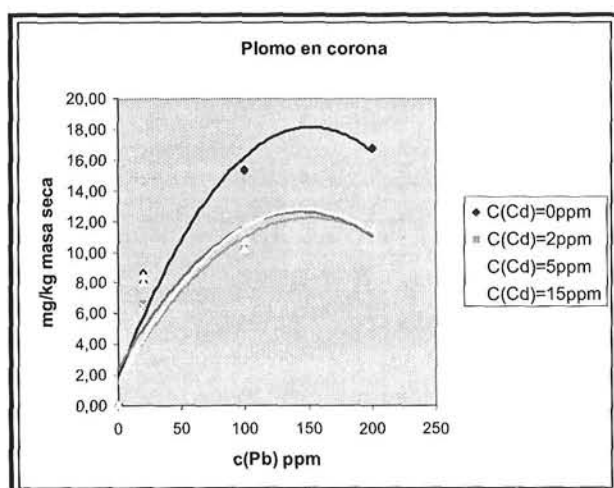


Figura 22 Plomo en la Corona

Extracción de Cadmio y Plomo por la variedad Criollo 98

Se realizó un análisis de la planta con vistas a contabilizar el Cadmio y el Plomo recuperado por la misma para los diferentes tratamientos. Los resultados se muestran en las Tablas 5.12 y 5.13 y en las Figuras 23 y 24. La mayor recuperación alcanzada fue de un 26,9 % para el Cd

Tabla 5.12 Porcentaje de recuperación de Cd por la planta

m(Cd añadido) mg	Porcentaje de recuperación de Cadmio			
	Pb=0 ppm	Pb=20 ppm	Pb=100 ppm	Pb=200 ppm
2	26,92	25,48	24,32	20,96
2	26,34	25,54	23,20	21,90
5	17,42	13,95	12,11	12,96
5	17,15	13,50	13,01	13,00
15	8,44	5,97	5,68	4,88
15	8,01	5,73	5,57	5,13

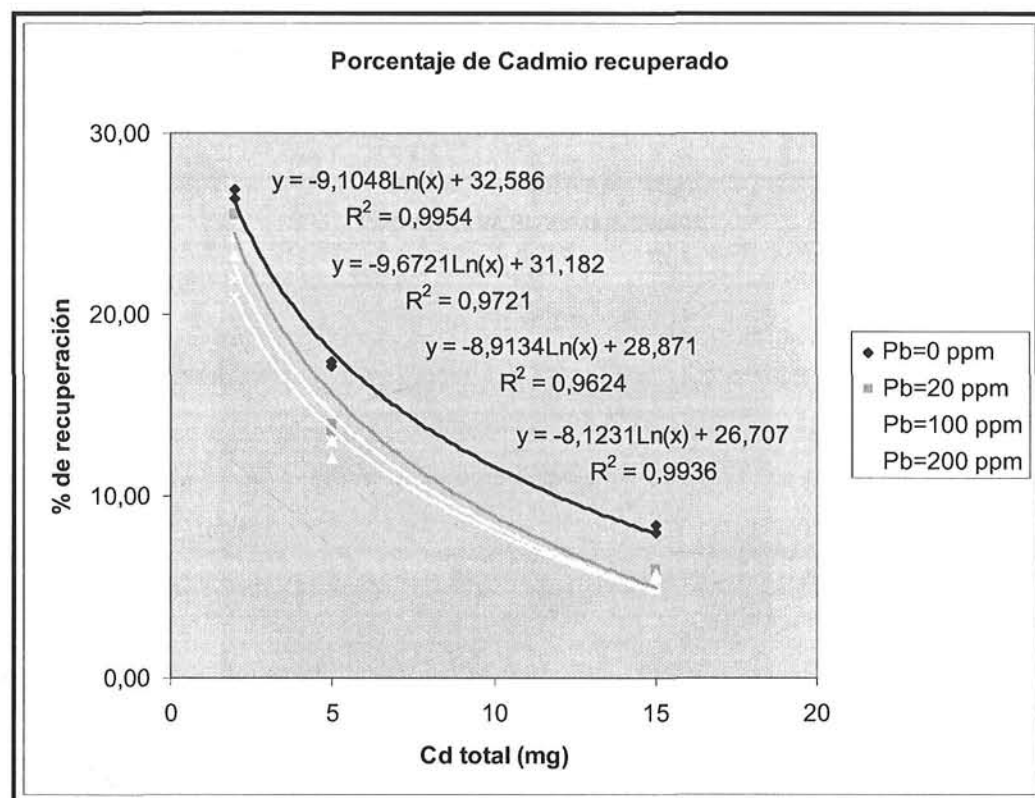


Figura 23 Recuperación de Cadmio por la Variedad Criollo 98

Se encontró que la ecuación que mejor describía el comportamiento de la variable era una ecuación logarítmica con coeficientes de regresión relativamente altos. En la medida en que aumenta la concentración de Cadmio en el sustrato, la planta extrae mas Cadmio, pero este incremento tiende a alcanzar un equilibrio (en el gráfico de asimilación se observa una tendencia de formar una meseta). La asimilación del elemento estará limitada por el crecimiento de la raíz y por la formación de un mayor volumen de biomasa por la planta, la que pudiera llegar a extraer hasta un 50% del Cadmio en una primera cosecha, de acuerdo con cálculos realizados a partir de los datos obtenidos en el Capítulo anterior de esta tesis.

Tabla 5.12 Porcentaje de recuperación de Pb por la planta

m(Pb añadido) mg	Porcentaje de recuperación de Plomo			
	Cd=0 ppm	Cd=2 ppm	Cd=5 ppm	Cd=15 ppm
20	5,35	4,96	4,04	3,62
20	5,47	4,93	4,01	3,46
100	2,28	1,97	1,52	1,40
100	2,27	1,89	1,64	1,38
200	1,06	1,01	0,90	0,66
200	1,16	1,02	0,90	0,72

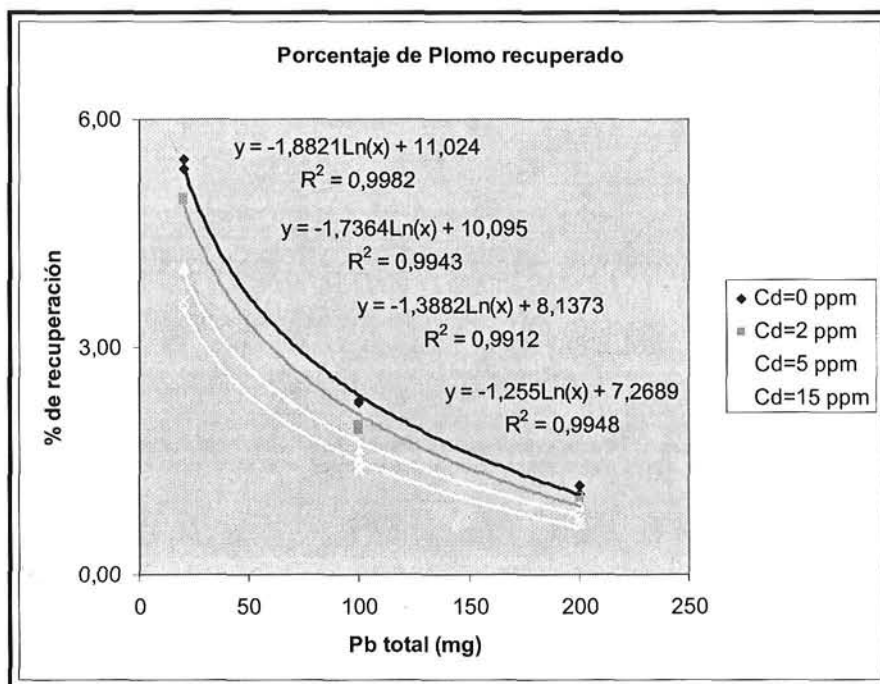


Figura 24 Recuperación de Plomo por la Variedad Criollo 98

Similar al comportamiento frente al Cadmio, se encontró que la ecuación que mejor describía el comportamiento de la variable era una ecuación logarítmica con coeficientes de regresión relativamente altos. En la medida en que aumenta la concentración de Plomo en la solución nutritiva se produce un incremento del contenido de Plomo en las diferentes partes de la planta, pero este incremento no es proporcional con los incrementos de la concentración de lomo en el sustrato, lo que conduce a que de forma general disminuya la recuperación de Plomo por la planta. Resulta evidente también, que esta variedad tiene mucha más afinidad por el Cadmio que por el Plomo. En el caso del Plomo, en condiciones normales, los porcentajes de recuperación serían muy inferiores a los del Cadmio, lo que confirma lo planteado por diferentes autores en el sentido que las plantas en general tienden a acumular solo un elemento en específico, en este caso para el Cadmio.

CAPÍTULO 5

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE Cd Y Pb EN LA VARIEDAD DE TABACO "CRIOLLO 98" CULTIVADA EN UN SUSTRATO INERTE.

Conclusiones:

1. Los metales pesados Cadmio y Plomo son rápidamente absorbidos por la planta de tabaco, la que los acumula fundamentalmente en la raíz y en las hojas basales.
2. La asimilación de Cadmio y Plomo puede ser descrita por una ecuación de segundo grado, en función de las cantidades presentes de estos elementos en la solución nutritiva.
3. Tanto el Cadmio como el Plomo influyen de forma negativa en los diferentes parámetros morfológicos estudiados para la planta, con una incidencia mas marcada en el caso del Cadmio
4. La planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, Variedad "Criollo 98" puede acumular porcentajes elevados de Cadmio y Plomo, principalmente de Cadmio en condiciones de producción.
5. La planta de tabaco *Nicotiana tabacum* L, Variedad "Criollo 98" tiene buenas cualidades y características que permiten su uso en técnicas de Fitorremediación.

CONCLUSIONES GENERALES:

1. La implantación y uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en áreas de la empresa tabacalera, constituye una herramienta importante para el control del proceso de producción y en el monitoreo de las áreas más expuestas a la contaminación natural y antrópica.
2. Los niveles de fondo de los metales pesados Cadmio y Plomo en los suelos de la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez se encuentran por debajo de los niveles máximos permitidos en la norma nacional y de las normas extranjeras consultadas.
3. Los contenidos de metales pesados Cd y Pb en la hoja de tabaco en la Empresa Tabacalera de San Juan y Martínez son inferiores a los niveles requeridos por las empresas importadoras.
4. La planta de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) variedad "Criollo 98" tiene potencialidades para ser utilizada en procesos de fitorremediación.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M. (1993) Sustratos. Características y propiedades. pp. 47-62. In: Cultivos sin suelo. F. Cánovas y J.R. Díaz. (ed.). Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA.
- ABAD, M. Y P. NOGUERA. (1997) Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp. 101-150. In: Manual de cultivo sin suelo. M. Urrestarazu (ed.). Universidad de Almería. Servicio de Publicaciones.
- ABOLLINO O., ACETO M., MALANDRINO M, MENTASTI E., SARZANINI C., BARBERIS R. (2002a) Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental Pollution*, 119, 177-193.
- ABOLLINO O., ACETO M., MALANDRINO M, MENTASTI E., SARZANINI C., PETRELLA (2000b) Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere*, 49, 545-557
- ADRIANO, D. C., WENZEL, W. W. AND E. LOMBI (2004) Biogeochemical processes in the rhizosphere: role in phytoremediation of metal-polluted soils. p. 273-303. In *Heavy Metal Stress in Plants: From Biomolecules to Ecosystems*, edited by M. Prasad and J. Hagemeyer. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- ADRIANO, D.,C. (1997) *Biogeochemistry of trace metals*.Eds. Science Reviews Georgia. 432 pp.
- ALLOWAY BJ. (1995) *Heavy metals in soil*. London, UK: Blackie Academic & Professional.
- ALLOWAY, B. J. (1995) *Heavy metals in soils*. Eds John Wiley And Sons, Inc. New York.368pp.
- ALMEIDA, J. R. de y OTROS (1993) *Planeamiento Ambiental*. Editorial Thex, Río de Janeiro, Brasil, 154 pp.
- ALONSO MARTIRENA J. I. (1997) *Contenido y distribución de metales pesados en suelos de Navarra. Cadmio, Cobre, Manganeseo, Níquel, Plomo y Cinc*. Tesis Doctoral. Universidad de Navarra.

- ALONSO, M. (1987) Manual de actividades prácticas de suelo. Editorial MS. ISAAC, 257pp.
- ANGELOVA, V.; K. IVANOV AND R. IVANOVA (2004) Effect of Chemical Forms of Lead, Cadmium, and Zinc in Polluted Soils on Their Uptake by Tobacco. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 27, No. 5, pp. 757–773, 2004
- ANSORENA J., MARINO N., LEGORBURU I. (1995) Agricultural Use of Metal Polluted Soil near an Old Lead-Zinc Mine in Oiartzun (Basque Country, Spain). *Environmental Technology*, 16, 213.
- ANSORENA, M. J. (1994) Sustratos. Propiedades y Características. Edición Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona, México.
- ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR (1997) Ley N° 81 del Medio Ambiente, Gaceta Oficial de la República de Cuba, La Habana, Edición extraordinaria, pp. 47-68.
- AYERS, R. S. AND D. W. WESTCOT. (1987) Water Quality for Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations - Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1, Rome (Italia). 174 p
- AZCON-BIETO, J. Y TALÓN, M. (2000) Fundamentos de Fisiología Vegetal. 521 pp, Ed. Mcgraw-Hill-Interamericana, Madrid.
- BAGHDADY N.H. y SIPPOLA J. (1984b) Extractability of pollutions elements cadmium, chromium, nickel and lead of soil with three methods. *Acta Agric. Scand.*, 34, 345-348.
- BAILEY, R.G. (1996) *Ecosystem Geography*, USDA Forest Service, Springer-Verlag, New York, 104pp.
- BARCELÓ, J., VÁZQUEZ, M. D. AND POSCHENRIEDER, C. H. (1988) Structural and ultra-structural disorders in cadmium-treated bush bean plants. *New Phytol.* 108, 37-49.
- BARRAGÁN, J. M. (1994) Ordenación, Planificación y Gestión del Espacio Litoral, Editorial OIKOS-TAU, Barcelona, 293 pp.
- BARRAGÁN, J. M. (2003) Medio Ambiente y Desarrollo en Áreas Litorales, Introducción a la Planificación y Gestión Integradas, Servicio de Publicaciones Universidad de Cádiz, 301 pp.

- BASZYNSKI, T., WAJDA, L., KROL, M., WOLINSKA, D., KRUPA, Z. AND TUKENDORF, A. (1980). Photosynthetic activities of cadmium-treated tomato plants. *Physiol. Plant.* 48, 365–370.
- BETTINELLI M., BEONE G.M., SPEZIA S., BAFFI C. (2000): Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave-assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis. *Analytica Chimica Acta*, 424, 289-296.
- BOISIER, S (1996) Ordenamiento territorial y proyecto nacional, Serie Ensayos, Documento 35. Dirección de Políticas y Planificación Regional (ILPES), Naciones Unidas/CEPAL-Consejo Regional de Planificación, 13 pp.
- BOLÓS, M. de, et al. (1992) Manual de Ciencia del Paisaje: Teoría, Métodos y Aplicaciones. Editorial MASSON, Barcelona España, 273 pp.
- BORROTO, C.; BORROTO DE LA TORRE, A. (1991): "Microelementos". *Citricultura tropical*, Tomo I :PP 201-210.
- BOWEN, H.J.M. (1979). *Plants and the Chemical Elements*. (Ed.) Academic Press, London
- BOYD, R.S., SHAW, J.J., MARTENS, S.N., (1994) Nickel hyperaccumulation defends *Streptanthus polygaloides* (Brassicaceae) against pathogens. *Am. J. Bot.* 81, 294–300.
- BROWN, S.L., CHANEY, R.L., ANGLE, J.S., BAKER, A.J.M., (1995) Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 125–133.
- BUREL, F. y J. BAUDRY (2002) *Ecología del Paisaje, Conceptos, Métodos y Aplicaciones*, Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, 353 pp.
- BURÉS, S. (1997). *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España.
- BURÉS, S. (1999) Introducción a los sustratos: aspectos generales. pp. 19-46. In: *Tecnología de sustratos: aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. J.N. Pastor S. (ed.). Universidad de Lleida. España.
- BUSTIOS S.; (2004) *Fitotecnia del tabaco*. Conferencia en la especialidad de tabaco. Escuela de Capacitación de la Agricultura. Pinar del Río. Cuba

- BUSTIOS, S. (1982) Estudio de precedentes culturales al tabaco bajo condiciones de tapado en un suelo Ferralítico Rojo Compactado. Resumen de Tesis por el grado de Dr. en Ciencias. ISCAH. La Habana.
- BUSTIOS, S. (1999) Influencia del movimiento del suelo en las pérdidas de algunas de sus propiedades físicas. Conferencia sobre laboreo de suelos. Maestría de Tabaco. Universidad de Pinar del Río.
- CABALLERO, J. V. (1997b) Los Conceptos Geográficos de los Documentos de Planificación Física: el Caso de la Charte de L'île de France, Cuadernos Geográficos; Universidad de Granada, 27; pp. 267-274
- CABALLERO, J. V., (1997a) El programa de Europa 2000-Apreciaciones Conceptuales y Metodología para la Ordenación del Territorio; Cuadernos Geográficos; Universidad de Granada 27; pp. 253-265.
- CABRERA, E.; OTERO, A.; PORRAS, P.; BOUZA, H.; LLANES, J. M. Y HERNÁNDEZ, J. M. (1996) Influencia de la labranza mínima con reducción de la dosis de abono orgánico sobre la conservación del suelo, la atmósfera y el cultivo del tabaco. En CMICT. MCTMR. Pinar del Río.
- CAIRO, P. Y FUNDORA, O. (1994) Edafología. Editorial Pueblo y Educación. Playa. Ciudad de la Habana. 476 p.
- CALMANO W., AHLF W., BENING J.C. (1992) Chemical mobility and bioavailability of sediment-bound heavy metals influence by salinity. Hidrobiología 235/236, 605-610.
- CALVO DE ANTA R. M. (1997) El conocimiento del suelo como principio básico de la gestión de suelos contaminados. Libro de Ponencias. 50 aniversario de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, Madrid, 211-240.
- CANO PARRILLA M. A.; MORENO GARCÍA A.M. Y GONZÁLEZ PARRA J. (1997) Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo. Ecología 11: 83-89.
- CANOVAS, F.; DÍAZ, J. R. (1993) Cultivos Sin suelo. Curso Superior de Especialización. Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería.

- CANOVAS, F.; MAGNA, J. J.; BOUKHALFA, A. (1999) Cultivos sin suelo. Hidroponía. En Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste español. Ed. Instituto de la Caja Rural de Almería. Almería.
- CHEN M., MA L.Q, HARRIS W.G. (1999) Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. *Journal of Environmental Quality* 28, 1173-1181.
- CHOWDHURY, B. A., CHANDRA, R. K. (1987) Biological and health implications of toxic heavy metal and essential trace element interactions. *Progr. Food Nutr. Sci.*, 11, 55-113.
- CONSEJO DE EUROPA (1983) Carta Europea de la Ordenación del Territorio aprobada en la 6ta CEMAT celebrada en Torremolinos, España, 4 pp.
- CONSEJO DE EUROPA (2000) Convención Europea del Paisaje, Congreso de Poderes Locales y Regionales de Europa, Florencia, 12 pp.
- CROOK J. (1984) Health and regulatory considerations . A: G.S. PETTYGROVE, T. ASANO (ads.). Irrigation with reclaimed municipal wastewater. California State Water Resources Control Board. Sacramento, California.
- CUBA (2000) Lineamientos de los programas de la agricultura convencional. Grupo Nacional de Agricultura Orgánica. GNAC. MINAG 35p
- CUBA, MINISTERIO DE LA AGRICULTURA (1984) Dirección General de suelos y Fertilizantes. Suelos de la Provincia de Pinar del Río. Ed. Científico-Técnica, La Habana 177p
- CUBA. (1998) Ministerio de la Agricultura. Dirección Nacional del Cultivo del Tabaco. Instructivo técnico para el cultivo del tabaco. La Habana: CIDA sp
- CUBA. (1998) Ministerio de la Agricultura. Instituto de Investigaciones del Tabaco. Instructivo técnico para el cultivo del tabaco. La Habana: SEDAGRI / AGRINFOR 128p.
- DAY, K.J., HUTCHINGS M.J., JOHN E.A. (2003) The effect of spatial pattern of nutrient supply on the early stages of growth in plant populations. *Journal of Ecology* 91: 305–315.
- DE BOODT, M., O. VERDONCK E I. CAPPAERT. (1974) Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37: 2054-2062.

- DE HAAN F.A.M., VAN RIEMSDIJK W.H. (1986) Behaviour of inorganic contaminants in soil. Contamination of soils, 1 st Int. TNO Conf., 1985. Eds. Assink, J.W. y Van de brink, W.J. Nijhoff, Dordrecht, Holanda, 19-36
- DENG, H.; Z. H. YE AND M. H. WONG (2004) Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. Environmental Pollution. Volume 132, Issue 1, November 2004, Pages 29-40
- DEVLIN R. M. (1979) Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana 1979.
- DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1986) L. 86/278/CEE.
- DÍAZ, F. L. (1993) Estudio de la influencia de la altura del desbotonado y el método de recolección, en el rendimiento y calidad de la variedad de tabaco "Burley Habana-13". Tesis presentada para la opción del Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas".
- DOMÉNECH X. (1997) Química del suelo. El impacto de los contaminantes. Ed. Miraguano, 11-18, 29-52, 119-122.
- DONCHEVA S, NIKOLOV B, OGNEVA V (1996) Effect of copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells. *Physiol. Plant.* 96:118-122.
- DONCHEVA, S. 1998. Copper induced alterations in the structure and proliferation of maize root meristem cells. *Journal of Plant Physiology* 153: 482-487.
- DONCHEVA, S., B. NIKOLOV AND V. OGNEVA. (1996) Effect of Copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells. *Physiologia Plantarum* 96: 118-122.
- DOUROJEANNI, A. (2000) Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable, Naciones Unidas, Santiago de Chile, 408 pp.
- DRAGUN, J. (1976) Copper: An analysis of soil-plant relations. *Science in Agriculture. Agric. Exp. Sta.* 23 (39): 2-3. Pennsylvania State University, University Park, Pa.
- EIJA PÄTSIKKÄ, MARJA KAIRAVUO, FRANTISEK SEREN, EVA-MARI ARO, AND ESA TYYSTJÄRVI (2002) Excess Copper Predisposes Photosystem II to Photo-inhibition in Vivo by Outcompeting Iron and Causing Decrease in Leaf Chlorophyll *Plant Physiol.* July 2002, Vol. 129, pp. 1359-1367
- ELKHATIB E.A., ELSHEEBINY G.M., BALBA A.M. (1991) Lead sorption in calcareous soils. *Environ. Pollut.* 69, 269-276.

- ELLIOT H.A., LIBERATI M.R., HUANG C.P. (1985) Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils. *Journal of Environmental Quality*, 15, 214-219.
- EVANGELOU, MICHAEL W.H. HATICE DAGHAN AND ANDREAS SCHAEFFER (2004) The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*. Volume 57, Issue 3, October 2004, Pages 207-213
- EVANGELOU, MICHAEL W.H., HATICE DAGHAN, ANDREAS SCHAEFFER. (2004) The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere* 57 (2004) 207–213
- EVANGELOU, MICHAEL W.H., MATHIAS EBEL, ANDREAS SCHAEFFER. (2006) Evaluation of the effect of small organic acids on phytoextraction of Cu and Pb from soil with tobacco *Nicotiana tabacum*. *Chemosphere* 63 (2006) 996–1004
- FACCHINELLI A., SACCHI E., MALLEN L. (2001) Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal source in soils. *Environmental Pollution* 114, 313-324.
- FAO (1983) Manténgase viva la tierra. Causas y remedios de la erosión. Roma.
- FAO (1984) Land, Food and People. Colección FAO: Desarrollo económico y social. Roma.
- FAO (1986) Manual de ordenación de cuencas hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación 13/1. Roma.
- FAO (1989) En busca de un nuevo equilibrio. Panorama de situación por el Director General. Roma.
- FAO. (1989) En busca de un nuevo equilibrio. Panorama de situación por el Director General. Roma.
- FARINA, A. (1998) Principles and Methods in Landscape Ecology, Chapman and Hall, 345 pp.
- FERNÁNDEZ, M. M.; AGUILAR, M. I.; CARRIQUE J. R.; TORTOSA, J.; GARCÍA, C.; LÓPEZ, M.; PÉREZ, J. M. (1998) Suelo y medio ambiente en invernaderos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.
- FLORIAN D., BARNES R.M., KNAPP G. (1998) Comparison of microwave-assisted acid leaching techniques for the determination of heavy metals in sediments, soils, and sludges. *Fresenius J Anal. Chem.* 362 7, 558-565.

- FOJTA, M., MILOSLAVA F., LUDEK H., PIVONKOV H., VLASTIMIL D., SESTAKOV I. (2006) Electrochemical monitoring of phytochelatin accumulation in *Nicotiana tabacum* cells exposed to sub-cytotoxic and cytotoxic levels of cadmium. *Analytica Chimica Acta* 558 (2006) 171–178
- FORMAN, R. T. T. and M. GODRON (1986) *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, New York, 619 pp.
- FRIEDMANN, J., (1991) Planificación para el siglo XXI: El desafío del Postmodernismo, *Revista Eure*; Vol. XVIII, No. 55; pp. 79-89.
- GABIÑA, J. (1998) *Prospectiva y Ordenación del Territorio: Hacia un proyecto de futuro*, Marcombo, S.A., Barcelona, 182 pp.
- GARCÍA TRUJILLO R. (1993) Tendencias mundiales de la agricultura orgánica. Primer encuentro nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y mesas redondas. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana (ISCAH) 19 al 21 de Mayo de 1993.
- GARCÍA, I., DONROROSO, C. (2003) Contaminación de suelos por metales pesados. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España.
- GASTÓ, J. y P. RODRIGO (1998) Estado actual del uso de los instrumentos de ordenamiento del territorio en Chile, Apoyo al desarrollo de instrumentos de manejo de los recursos naturales: Ordenamiento Territorial, En: CONAMA, Programa de fortalecimiento y cumplimiento de las normas del medio ambiente, Santiago de Chile, CONAMA BID/FOMIN (1) pp. 56-108
- GASTÓ, J., P. RODRIGO e I. ARÁNGUIZ (2002) *Ordenación Territorial, Desarrollo de Predios y Comunas Rurales*, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, LOM Ediciones, Santiago de Chile, 998 pp.
- GERRISTE R.G., VAN DRIEL, W. (1984) The relationship between adsorption of trace metals, organic matter and pH in temperate soils. *J. Environ. Qual.* 13, 197-204.
- GHOSHROY, S. AND NADAKAVUKAREN, M. J. (1990) Influence of cadmium on ultrastructure of developing chloroplasts in soybean and corn. *Environ. Exp. Bot.* 30, 187–192.

- GICHNER T., PATKOVÁ Z., SZÁKOVÁ J., DEMNEROVÁ K. (2004) Cadmium induces DNA damage in tobacco roots, but no DNA damage, somatic mutations or homologous recombination in tobacco leaves. *Mutation Research* 559 (2004) 49–57
- GISBERT, CARMINA; ROC ROS, ANTONIO DE HARO, DAVID J. WALKER, M. PILAR BERNAL, RAMÓN SERRANO AND JUAN NAVARRO-AVIÑÓ (2003) A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. Volume 303, Issue 2, 4 April 2003, Pages 440-445
- GLASS, D.J., (1999) Economic potential of phytoremediation. In: Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*. John Wiley & Sons, New York, NY, pp. 15–31.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2002) Ley Foral 35/2002, de 20 de Diciembre, de Ordenación del Territorio y Urbanismo, BON numero 156, Pamplona, 98 pp.
- GÓMEZ OREA, D. (2002) Ordenación Territorial, Editorial Agrícola Española y Mundi-Prensa, Madrid, España, 704 pp.
- GONZALES, M. (1992). Agroecología. Bases teóricas para una historia agraria alternativa. *Agroecología y desarrollo* No. 4.
- GONZÁLEZ-BERNALDEZ, F. (1981) *Ecología y Paisaje*, Editorial H. Blume, Madrid, 250 pp.
- GOUGH L.P., SEVERSON L.C., JACKSON L.L. (1994): Baseline element concentration in soils and plants, Bull Island, Cape Romain, National Wildlife Refuge, South Carolina, USA. *Water, Air and Soil Pollution*, 74, 1-17.
- GRCMAN, H., VELIKONJA-BOLTA, S., VODNIK, D., KOS, B., LESTAN, D., (2001) EDTA enhanced heavy metal phytoextraction: metal accumulation, leaching and toxicity. *Plant Soil* 235, 105–114.
- GRCMAN, H., VODNIK, D., VELIKONJA-BOLTA, S., LESTAN, D., (2003) Ethylenediamine-dissuccinate as a new chelate for environmentally safe enhanced lead phytoextraction. *J. Environ. Qual.* 32, 500–506.
- GUARDIOLA, J. L. Y L. A. GARCÍA (1990) *Fisiología vegetal, nutrición y transporte*. España: Ed. Síntesis 1990.

- GUDIÑO, M. E. (2003) Desafíos para el Neoliberalismo, Ordenamiento Territorial y Planificación Estratégica, en Proyección Revista del CIFOT, Universidad de Cuyo, Mendoza, Argentina, Numero 2, pp.33-40
- GUPTA S.K. (1984) Importance of soil solution composition in deciding the best suitable analytical criteria for guidelines on maximum tolerable metal load and assessing biosignificance of metal in soil. Schweiz. Ladw. Fo. 23, 209-225.
- GUPTA S.K., ATEN C. (1993) Comparison and evaluation of extraction media and their suitability in a simple model to predict the biological relevance of heavy metal concentrations in contaminated soils. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 51, 25-46.
- HARADA, EMIKO; YONG-EUI CHOI, ATSUNARI TSUCHISAKA, HITOSHI OBATA AND HIROSHI SANO (2001) Transgenic tobacco plants expressing a rice cysteine synthase gene are tolerant to toxic levels of cadmium. Journal of Plant Physiology. Volume 158, Issue 5, 2001, Pages 655-661
- HELLMAN H. (2002) Definitions of background-concentrations- An overview. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 29, 391-398.
- HERNÁNDEZ A., ASCONIO O., ORTEGA F., ÁVILA L., CÁRDENAS A., MARRERO A. (1975) Segunda clasificación genética de os suelos de Cuba. Serie suelos., 23 pp 1-25.
- HERNÁNDEZ A., PÉREZ, J. M., GONZÁLEZ, J., E., CAMACHO R., RUIZ J., BOSH J., TORRES M. (1994) Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de los Suelos. Ministerio de la Agricultura. Ciudad de la Habana. Pp 48.
- HILDENBRAND, A. (1996) Política de Ordenación del Territorio en Europa. Universidad de Sevilla-Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, Sevilla, España, 76 pp.
- HOODA P.S. y ALLOWAY B. J. (1994b) Changes in operational fractions of the trace metals in two soils during two years of reaction time following sludge treatment. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 57, 289-311.

- HOODA P.S., ALLOWAY B.J. (1994a) Sorption of Cd y Pb by selected application semi-arid soils effects of sludge application and ageing of sludged sals. *Water, Air & Soil Pollution*74, 235-250.
- HOODA P.S., ALLOWAY B.J. (1998) Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils. *Geoderma*84, 121-134.
- IHOBE (1994) Investigación de la Contaminación del Suelo. Plan Director para la protección del suelo. Gobierno Vasco.
- IMPELLITTERI C. A., LU Y., SAXE J. K., ALLEN H. E., PEIJNENBURG W. J. G. M. (2002) Correlation of the portioning of dissolved organic matter fractions with the desorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from 18 Dutch soils. *Environment International* 28, 401-410.
- INE-SEMARNAP (1996) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Gaceta Ecológica*; México, D. F., Nueva Época, No. 40, Otoño, pp. 84-120.
- INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN FÍSICA (1999) Ley de Ordenamiento Territorial y el Urbanismo (proyecto). Ministerio de Economía y Planificación, La Habana, 32 pp.
- ISO 11047: Soil Quality. Determination of heavy metals by flame and flameless atomic absorption spectrometry.
- ISO 11466 (1995) Soil Quality. Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua Regia.
- JANOUSHKOVÁ, M.; D. PAVLÍKOVÁ, T. MACEK, AND M. VOSÁTKA (2005). Influence of arbuscular mycorrhiza on the growth and cadmium uptake of tobacco with inserted metallothionein gene. *Applied Soil Ecology*. Volume 29, Issue 3, July 2005, Pages 209-214
- JIMÉNEZ MONTESINOS, M. (1983) Análisis de suelos. E.R.T.
- JIN Q., LIANG F., ZHANG H., ZHAO L., HUAN Y., SONG D. (1999) Application of microwave techniques in analytical chemistry. *Trends in Anal. Chem.*, 18, 479-484.
- KABATA PENDIAS, A.; PENDIAS, H. (1984) Trace Elements in Soils and Plants, 2nd Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 1984.
- KABATA-PENDIAS A, ed. (2000) Trace elements in soils and plants. Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC.

- KABATA-PENDIAS A. (1995) Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. In: W. Salomons, U. Förstner and P. Mader, Editors, Heavy Metals. Problems and Solutions. 3–18.
- KABATA-PENDIAS, A. Y PENDIAS, H. (1992) Trace elemets in soil and plants. Eds. CRC Presss. Bocaratón, USA.365 pp.
- KASHEM M.A., SINGH B.R. (2001) Metal availability in contaminated soils: i. Effects of flooding and organic matter on changes in eh, ph and solubility of Cd, Ni. And Zn nutr cycl agroecosys 61 (3), 247-255.
- KATARINA VOGEL-MIKUŠ; DAMJANA DROBNE AND MARJANA REGVAR (2005) Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. Environmental Pollution. Volume 133, Issue 2, January 2005, Pages 233-242
- KIEKENS L. (1984) Behaviour of heavy metals in soils En "Utilisation of sewage sludge of land: Rates of application and long-term effects of metals". Eds S. Berglung, R.D. Davis y P. L'Hermite, D. Reidel Publis. Co. Dordercht, pp 126-134.
- KOWALEWSKA Z., BULSKA E., HULANICKI A. (1998) The effect of sample preparation on metal determination in soil by FAAS Fresenius' Journal of Analytical Chemistry 362, 125-129.
- KRISHNAMURTI G.S.R., NAIDU R. (2003) Solid-solution equilibria of cadmium in soils. Geoderma, 113, 17-30.
- KUO S., HEILMAN P.E., BAKER A. S. (1983) Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron and manganese in soils near a copper smelter. Soil Sci. 135 101-109.
- LAKE D.L., KIRK P.W.W., LESTER J.N. (1984) Fractionation, characterization and speciation of heavy metals in sewage sludge and sludge-amended soils: a review. J. Envirom. Qual. 13, 175-183.
- LARSSON, E.H., BORNMAN, J.F. AND HAKAN, A. 1998 Influence of UV-B radiation and Cd²⁺ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. J. Exp. Botany, 49, 1031 – 1039.

- LASKI, P. (1988) Generación de tecnologías adecuadas al desarrollo rural. Serie desarrollo rural. No. 4 Oficina Regional para América Latina.
- LAVANDEROS, L., J. GASTÓ y P. RODRIGO (1994) Hacia un Ordenamiento Ecológico-Administrativo del Territorio, Sistemas de Información Territorial, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Valparaíso y Corporación Chile Ambiente, 197 pp.
- LEBOURG A., STERCKEMAN T., CIESIELSKI H., PROIX N. (1998) Trace metal speciation in Three un buffered salt solutions used to assess their bioavailability in soil. *Journal of Environmental Quality*, 27, 584-590.
- LINDSAY W.L., NORWELL W.A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42, 421-428.
- LLURBA, M. (1997) Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. *Revista Horticultura* N° 125 - Diciembre 1997.
- LOBO BEDMAR, M.C. (2002) Descontaminación de suelos. Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria. IMIA. N-11, km 38200 28800, Alcalá de Henares, Madrid, España.
- LUND W. (1990) Speciation analysis- why and how. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 337, 557-564.
- MANTOBANI, J. M. (1997) El Ordenamiento Territorial ¿política social o política económica? VI Encuentro de Geógrafos de América Latina, Buenos Aires, 9 pp.
- MANZIONE M.A. y MERRILL D.T. (1989) Trace metal removal by Iron coprecipitation: Field evaluation. Electric Power Research Institute Report EPRIGS-6438, Palo Alto, CA, USA.
- MARI, J. A., L. N. HONDAL, J. M. FORTUNA, J. L. RÍOS, MAIRA CRISTO, P. F. FUENTE Y ENMA MURO (1990) Influencia de la rotación de cultivos en la fenología de la planta de tabaco. *Temas técnicos de tabaco* 7 (1): 16-24pp
- MAROTO, J. V. (1990) Elementos de Horticultura General. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- MARSCHNER, H. (1995) The soil-root interface (Rhizosphere) in relation to plant nutrition." Chap. 15. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press.
- MARTÍNEZ, E; GARCÍA, M. (1999) Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Ed Horticultura. Madrid.

- MASSART D. L. AND KAUFMAN L. (1983) The interpretation of Analytical Chemical Data by the Use of Cluster Analysis. Wiley.
- MASSART, D. L., F. ESTIENNE, N. ZANIER, P. MARTEAU (1998) Methodological Study. Stepwise Variable Selection Applied to Raman Data. 4th Symposium of the Belgian Chemometrics Society (B.C.S.) (20 November 1998) Brussels - Belgium
- MASSIRIS, A (2001) Cualidades y desafíos de las políticas latinoamericanas de OT, en Coloquio Geográfico sobre América Latina, Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 14 pp.
- MATEO, J. (1991) Geoecología de los Paisajes. Apuntes para un curso de postgrado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 222 pp.
- MATEO, J., J. L. GUZMAN y E. SALINAS (1985) El Análisis de los Paisajes como fundamento para la Planificación de los Territorios, Primera Jornada sobre Planificación Regional, y Urbana, IPF- JUCEPLAN, La Habana, 18 pp.
- MAYWALD, F., WEIGEL, H.J., (1997) Biochemistry and molecular biology of heavy metal accumulation in higher plants. Landbauforsch. Volk. 47, 103–126.
- Mc GRATH D. (1995) Organic micro pollutant and trace element pollution of Irish soils. Sci. Total Environ., 164, 125-133.
- MEHARG A.A (1994) Integrated tolerance mechanisms - constitutive and adaptive plant - responses to elevated metal concentrations in the environment. Plant Cell Environ 17: 989-993
- MÉNDEZ, E. (1999) Planificación y Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible, CIDIAT, Mérida, Venezuela, 131 pp.
- MILLAR E. V. (1967) Fisiología Vegetal. Editorial Hispano-Americana. 1967
- MILLIS, P.R., RAMSEY, M.H., and JOHN, E.A. (2004) Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainty in plant uptake and its implications for human health risk assessment. Science of the Total Environment 326: 49–53.
- MINAGRI (1994). Manual de técnicas de análisis químico para el humus de lombriz. Instituto de suelos. Ciudad de la Habana
- MINAGRI, P. DEL RÍO. (1996) Informe provincial. Sesión Científica. Mayo de 1996. P. del Río.

- MINER, G.S.; GUTIERREZ, R.; KING, L.D. 1997. Soil factors affecting plant concentrations of cadmium, copper and zinc on sludge-amended soil. *J. Environ. Qual.* 1997, 26, 989–994.
- MIRANDA -TREVINO J. C. y COLES C.A. (2003): Kaolinite properties, structure and influence of metal retention on pH. *Applied Clay Science*, In Press, Corrected Proof. Available online 16 June 2003.
- MUNTAU, H., REHNERT A., DESAULES, A., WAGNER, G., THEOCHAROPOULOS S. & QUEVAUVILLER, Ph. (2001a): Analytical aspects of the CEEM soil project. *The Sci. of the Total Environ.*, 264, 27-49.
- MYUNG CHAE JUNG AND IAIN THORNTON. 1996. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. *Applied Geochemistry*, Vol. 11, pp. 53-59, 1996
- NAIDU R., BOLAN N.S., KOOKANA R.S., TILLER K.G. (1994): Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. *En. J. Soil Sci.* 45, 419-429.
- NAKASHIMA S., STURGEON R.E., WILLIE S.N., BERMAN S.S. (1998): Acid digestion of marine sample for trace element analysis using microwave heating. *Analyst*, 113, 159.
- NAVARI-IZZO F, QUARTACCI MF, PINZINO C, DALLA VECCHIA F, SGHERRI CLM (1998) Thylakoid-bound and stromal enzymes in wheat treated with excess copper. *Physiol Plant* 104: 630-638
- NAVARRO, E. (2003) ¿Puede seguir creciendo la Costa del Sol? Indicadores de Saturación de un destino turístico, Colección Monografías Numero 23, Servicio de Publicaciones, Diputación Provincial de Málaga, 360 pp.
- NAVAS A. y MACHÍN J. (2002b): Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragón (northeast Spain): controlling factors and environmental implications, *Applied Geochemistry*, 17, Issue 8, 961-973.
- NAVEH, Z. and A. S. LIBERMAN (1984). *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer Verlag; New York; 341 pp.

- NEAL R.H., SPOSITO G. (1986): Effects of soluble organic matter and sewage sludge amendments on cadmium sorption by soils at low cadmium concentrations. *Soil Sci.*, 142, 164-172.
- NICHOLSON F.A., SMITH S.R., ALLOWAY B.J., CARLTON-SMITH C., CHAMBERS B.J. (2003): An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of The Total Environment*, 311, Issues 1-3, 205-219.
- NIGAM, R., SRIVASTAVA, S., PRAKASH, S., SRIVASTAVA, M.M., 2000. Cadmium mobilisation and plant availability—the impact of natural organic acids commonly exuded from roots. *Plant Soil* 230, 107–113.
- NILSON T., KRANTZ-ELIASSON, B., BJURMAN M. (1995): Measurement pH of in soil samples from a cutover peatland in Sweden. The effect of electrolyte and solution soil ratio. *Communication Soil Science and Plant Analysis*. 26, 361-374.
- NOVOZAMSKI I., LEXMON Th. M., HOUBA V. J. G. (1993): A single extraction procedure of soil for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. *Int. Journal Environ. Anal. Chem.*, 51, 47-58.
- OLSON, B. H. and V. P. GUINN (1978) Accumulation of trace elements in soil and plants from land disposal of secondary domestic wastewater . A: H.L. McKIM (ed.). *State of knowledge in land treatment of wastewater*. Symp. Hanover, New Hampshire, agosto 1978.
- PÉREZ CID B., FERNÁNDEZ ALBORÉS A., FERNÁNDEZ GÓMEZ E. Y FALQUÉ LÓPEZ E. (2001). Metal fractionation in olive oil and urban sewage sludge using the three-stage BCR sequential extraction method and microwave single extractions. *Analyst*, 126 (8), 1304–1311.
- PICKERING, W.F. (1986): Metal ion speciation- soils and sediments (a review). *Ore Geology Reviews*, 1, 83-146.
- PODAR DORINA, MICHAEL H. RAMSEY AND MICHAEL J. HUTCHINGS (2004) Effect of cadmium, zinc and substrate heterogeneity on yield, shoot metal concentration and metal uptake by *Brassica juncea*: implications for human health risk assessment and phytoremediation. *New Phytologist*. (2004) 163: 313–324 www.newphytologist.org

- PORTA J., LOPEZ ACEVEDO M., ROQUERO C. (1999): Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa 2ª Ed. 849 pp.
- PRASAD, M.N.V. 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environ. Exp. Bot.* 35, 525–545
- PUJADAS, R. Y J. FONT (1997). Ordenación y Planificación Territorial: Espacios y Sociedades. Serie Mayor, No. 8, Editorial Síntesis, Barcelona, 399 pp.
- QUEVAUVILLER Ph. (1998): Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis I. Standardization. *Trends in Anal. Chem.*, 17, No. 5.
- QUEVAUVILLER Ph., MAIER E.A. (1995): Quality assurance and quality control for environmental monitoring. In: Quevauviller P, editor. Quality assurance in environmental monitoring sampling and sample pre-treatment. 1-25.
- QUEVAUVILLER Ph., RAURET G., MUNTAU H., URE R., RUBIO A.M., LÓPEZ-SÁNCHEZ J.F., FIEDLER H. D, GRIEPINK B. (1994). Evaluation of a sequential extraction procedure for the determination of extractable trace metal contents in sediments. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry.* 349, 808-814.
- QUINTANA, G. W.; (1981) Aspectos fitotécnicos y algunas características agronómicas que influyen en el rendimiento y la calidad en la planta de tabaco. *Boletín de Reseñas, Tabaco* 5. 1981
- RASKIN, I., SMITH, R.D., SALT, D.E., 1997. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Curr. Opin. Biotechnol.* 8, 221–226.
- RAURET G. (1998): Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment 1998, *Talanta.* 46, 449-455.
- RENGASAMY BOOMINATHAN AND PAULINE M. DORAN (2003). Organic acid complexation, heavy metal distribution and the effect of ATPase inhibition in hairy roots of hyperaccumulator plant species. *Journal of Biotechnology.* Volume 101, Issue 2, 6 March 2003, Pages 131-146
- RIVEROL, M. (1986) La erosión potencial de los suelos de Cuba y los resultados para su mapificación. Tesis de Candidatura. Instituto de Suelos de la Habana.
- ROBINSON, B.H., MILLIS, T.M., PETIT, D., FUNG, L.E., GREEN, S.R., CLOTHIER, B.E., 2000. Natural and induced cadmium accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. *Plant Soil* 227, 301–306.

- ROMKENS, P., BOUWMAN, L., JAPENGA, J., DRAAISMA, C., 2002. Potentials and drawbacks of chelate-enhanced phytoremediation of soils. *Environ. Pollut.* 116, 109–121.
- ROUGERIE, G. and N. BEROUTCHACHVILI (1991) *Geosystemes et Paysages, Bilan et Methodes*, Collection Geographie, Editorial Armand Colin, París, 302 pp.
- RUBIN B. A. (1984) *Curso de Fisiología Vegetal*. Traducido del Ruso. Moscú. 1984
- RUBIO R., VIDAL M. (1995): Quality assurance for sampling and sample pre-treatment for trace metal determination in soils. In: Quevauviller P, editor. *Quality assurance in environmental monitoring sampling and sample pre-treatment*. 159-179.
- SADE, A. 1997. *Cultivos bajo condiciones forzadas. Nociones generales*. Ed. Hazera España 90, S.A. Tel Aviv. Israel.
- SAGNER, S., KNEER, R., WANNER, G., COSSON, J.P., DEUS-NEUMANN, B., ZENK, M.H., 1998. Hyperaccumulation, complexation and distribution of nickel in *Sebertia acuminata*. *Phytochemistry* 47, 339–347
- SAHUQUILLO A., LOPEZ SANCHEZ J.F., RUBIO R., RAURET G., THOMAS R.P., DAVIDSON C.M., URE A.M. (1999): Use of a certified reference material for extractable trace metals to assess sources of uncertainty in The BCR three-stage sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta*, 382, 317-327.
- SAHUQUILLO A., RIGOL A., RAURET G. (2003): Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 22, 152-159.
- SALINAS E. (2001) *Landscape Ecology as a basis for Regional Planning in Cuba*, in Zee, D.van der and I. S. Zonneveld (eds) *Landscape Ecology Applied in Land Evaluation, Development and Conservation*. Some worldwide selected examples, Enschede, ITC publication 81, pp. 181- 194.
- SALINAS, E. (1991) *Análisis y Evaluación de los Paisajes en la Planificación Regional en Cuba*, Tesis de doctorado, Universidad de la Habana, 187 pp. (inédito)
- SALINAS, E. (1994) *El Ordenamiento Geoecológico en la Planificación Regional en Cuba*, Medio Ambiente y Urbanización, Año 13 No. 49 pp. 89-99, Buenos Aires, Argentina.

- SALT, D. E., PRINCE, R. C., PICKERING, I. J. AND RASKIN, I. (1995). Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in indian mustard. *Plant Physiol.* 109, 1427–1433.
- SALT, D.E., SMITH, R.D., RASKIN, I., 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 643–668.
- SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1993) Análisis agrícola. Material complementario para el análisis e interpretación de suelos y fertilizantes. Escuela Universitaria Politécnica Agraria. Palencia. Universidad de Valladolid. España.
- SÁNCHEZ BÁSCONES, M. (1996) El análisis e interpretación de suelos y fertilizantes. Explotaciones agropecuarias, Serie agrícola No. A-15. Universidad de Valladolid, España.
- SANDRONI V., SMITH C.M.M., DONOVAN A. (2003): Microwave digestion of sediment, soils and urban particulate matter for trace metal analysis. *Talanta*, 60, Issue 4, 715-723.
- SAPPIN-DIDIER, V.; MENCH, M.; GOMEZ, A.; MASSON, P. (1997) Evaluation by single extractants of Cd immobilization following the addition of inorganic amendments in two metal contaminated soils. *Comptes rendus de l' academie des sciences. Serie III. Sciences de la Vie* 1997, 320, 413–419.
- SASTRE J., SAHUQUILLO A., VIDAL M., RAURET G. (2002): Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: microwave-assisted total digestion versus aqua regia and nitric acid extraction, *Analytica Chimica Acta*, 462, 59-72.
- SASTRE J., VIDAL M., RAURET G., SAURAS T. (2001): A soil sampling strategy for mapping trace element concentrations in a test area. *The Science of the Total Environment*, 264, 141-152.
- SAUVE S., HENDERSHOT W., ALLEN H.E. (2000): Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. *Environ. Sci. Technol*, 34, 1125-1131.
- SAUVE S., McBRIDE M.B., NORWELL W.A. y HENDERSHOT W. (1997): Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: effects of copper levels, pH and organic matter. *Water Air Soil Pollut.*, 100, 133-149.

- SAUVÉ S., McBRIDE M.B., y HENDERSHOT W.H. (1997): Speciation of lead in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 98, 149-155.
- SAUVÉ S., MCBRIDE M.B., y HENDERSHOT W.H. (1998): Soil solution speciation of Pb^{2+} . Effects of organic matter and pH. *Soil Society of American Journal*, 62, 618-621.
- SCHLOTTFELDT, C. (1998) El ordenamiento territorial ambiental: una tarea factible, Documento Serie Azul 20, Instituto de Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, 66pp.
- SCHMIDT, U., 2003. Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. *J. Environ. Qual.* 32, 1939–1954.
- SCHWARTZ, C., ECHEVARRIA, G., MOREL, J.L., 2003. Phytoextraction of cadmium with *Thlaspi caerulescens*. *Plant Soil* 249, 27–35.
- SEMU, E.; SINGH, B.R. 1996. Accumulation of heavy metals in soils and plants after long-term use of fertilizers and fungicides in Tanzania. *Fertil. Res.* 1996, 44, 241–248.
- SHEVCHENKO, A.V., I.G. BUDZANIVSKA, T.P. SHEVCHENKO, V.P. POLISCHUK and D. SPAAR. 2004. Plant virus infection development as affected by heavy metal stress. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2004, Vol. 37, pp. 139– 146
- SINGH J.P., KARWASRA S. P. S., MAHENDRA SING. (1988). Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. *Soil Sci.*, 146, 359-366.
- SINGH. B.H., NARWAL R. P (1984): Plant availability of heavy metals in a sludge-treated soil: II. Metal extractability compared with plant metal uptake. *J. Environ. Quality*, 13, 344-349.
- SIVORI, E. M. Y RESNIK, M. E. (Dir). 1980. *Fisiología Vegetal*. Primera Edición. Editorial Hemisferio Sur, Argentina.
- SIVORI, E.M., E.R. MONTALDI Y O.H. CASO (1980) *Fisiología vegetal*. Hemisferio Sur, Buenos Aires.

- SMITH F.E., ARSENAULT E.A. (1996): Microwave-assisted sample preparation in analytical chemistry, *Talanta*, 43, 1207-1268.
- SOUMITRA GHOSHROY, KAREN FREEDMAN, ROBERT LARTEY AND VITALY CITOVSKY, 1998. Inhibition of plant viral systemic infection by non-toxic concentrations of cadmium. *The Plant Journal* (1998) 13(5), 591-602
- SPOSITO G. (1981): The Thermodynamics of soil solution. Oxford University Press. New York.
- SPOSITO, G. (1989): The Chemistry of Soils (Oxford Univ. Press, New York).
- STIGLIANI W.G. (1993): Overview of the Chemical Time Bomb problem in Europe. In: Meulen G.R.B., Stigliani W.G., Salomons W., Bridges E.M., Imenson A.C. (Eds.) Chemical time booms. Proceedings of the European State-of-the-art Conference on Delayed effects of Chemicals in Soils and Sediments. Veldhoven, the Netherlands, 1992. Hoofddorp, the Netherlands, 13-29.
- STOBART, A. K., GRIFFITHS, W. T., AMEEN-BUKHARI, I. AND SHERWOOD, R. P. (1985). The effect of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. *Plant Physiol.* 63, 293-298.
- STRAWN D.C., SPARKS D.L. (2000): Effects of soil organic matter on the kinetics and mechanisms of Pb (II) sorption and desorption in soil. *Soil Sci. Society of America Journal*, 64, 144-156.
- TAM N.F.Y., YAO M.W.Y. (1999): Three Digestion Methods to Determine Concentrations of Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, Cr, Mn and Fe in Mangrove Sediments from Sai Keng, Chek Keng and Sha Tau Kok, Hong Kong, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 708-716.
- TERRES, V.; ARTETXE, A.; BEUNZA, A. 1997. Caracterización física de los sustratos de cultivo. *Revista Horticultura* Nº 125 - Diciembre 1997.
- THEOCHAROPOULOS S.P., WAGNER G., SPRENGART J., MOHR M.-E., DESAULES, A., MUNTAU H., QUEVAUVILLER, P. (1998): Harmonization and quality assurance in sampling and pretreatment of soils. Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science, 20-26/08/1998 in Montpellier, France.

- THEOCHAROPOULOS S.P., WAGNER G., SPRENGART J., MOHR M.E., DESAULES A., MUNTAU H., CHRISTOU M., QUEVAUVILLER P. (2001): European soil sampling guidelines for soil pollution studies. *The Science of The Total Environmen.* 264, 51-62.
- THEOCHAROPOULOS, S. P., WAGNER, G., SPRENGART, J., MOHR, M.-E., DESAULES, A., CHRISTOU, M. & QUEVAUVILLER, P. (2001b): European soil sampling guidelines for soil pollution studies. *The Science of the Total Environment*, 264, 51-62.
- TIPPING E., RIEUWERTS J., PAN G., ASHMORE M.R., LOFTS S., HILL M.T.R., FARAGO M.E. y THORNTON I. (2003): The solid–solution partitioning of heavy metals (Cu, Zn, Cd, Pb) in upland soils of England and Wales. *Environmental Pollution*, 125, Issue 2, 213-225.
- TSADILAS, C. D.; KARAIVAZOGLOU, N.A.; TSOTSOLIS, N.C.; S. STAMATIADIS AND V. SAMARAS (2005). Cadmium uptake by tobacco as affected by liming, N form, and year of cultivation. *Environmental Pollution*. Volume 134, Issue 2, March 2005, Pages 239-246
- TSADILAS, C.D. (2000) Soil pH influence on cadmium uptake by tobacco in high cadmium exposure. *J. Plant Nutr.* 2000, 23, 1167–1178.
- TUCKER G.B., BERG W.A. y GENTZ D.H. (1987): Reclaiming mine soils and overburden in the western United Stated. *Analytical parameters and procedures.* R.D. williams y G.E. Schuman (Ed.), 3-26.
- URE A. M., QUEVAUVILLER P., MUNTAU H. Y GRIEPING B. (1993): Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the bcr of the Commission of the European Communities. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 51, 135-151.
- URE A.M. (1994): Methods of analysis for heavy metals in soils. En *heavy metals in soils* 2nd Edition Ed Bj Alloway, Chapman and Hall. Great Britain. 58-102.
- URE A.M. (1996): Single extraction schemes for soils analysis and related applications. *The Science of the Total Environment*, 178, 3-10.

- URE A.M. y DAVIDSON C.M. (1995): Chemical Speciation in the Environment. Chapman & Hall. Glasgow.
- URRESTARAZU, M. 1997. Manual De Cultivo Sin Suelo. Ed. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería. Almería.
- US EPA (2002): Role of Background in the CERCLA Cleanup Program. Office of Solid Waste and Emergency Response. OSWER 9285.6-07P.
- US EPA 3051 (1994): Microwave assisted acid digestion of sludges, sediments, soils and oils. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1997.
- US-EPA (1996): Soil Screening Guidance, User's Guide. Office of Solid Waste and Emergency Response. Second Ed.
- UTE SINAIE-ITSEMAP AMBIENTAL (1999): Estudio piloto para la determinación de los niveles de fondo y valores de referencia para metales en los suelos de la provincia de Valladolid. Conserjería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.
- VAN ASSCHE, F, CLIJSTERS, H. (1990) Effect of metals on enzyme activity in plants. Plant Cell Environ. 3:195-206.
- VARVARA, P., et al. (2001). Increase ability of transgenic plants expressing the bacterial enzyme ACC deaminase to accumulate Cd, Co, Cu, Ni, Pb and Zn. Department of biology. University of Waterloo. Ontario, Canadá. N2 L 361.
- VÁZQUEZ EDITH (1982) Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana 1982.
- VEGTER J.J. (1995): Soil Protection in the Netherlands. En Heavy Metals. Salomons W., Forstner U. y Mader P. (Eds). Springer, Berlin.
- VIDAL M., TENT J., RAURET G., ROCA M. C., SAURAS T. y VALLEJO V.R. (1994): Forest soil sampling for pollution assessment. Quim. Anal., 13, S70-S75.
- VOGELI-LANGE, R. AND WAGNER, G.J. 1990. Subcellular localization of cadmium and cadmium-binding peptides in tobacco leaves. Plant Physiol. 92, 1086–1093.
- WAGNER G., DESAULES A., MUNTAU H., THEOCHAROPOULOS S., QUEVAUVILLER P. (2001a): Harmonisation and quality assurance in pre-analytical steps of soil contamination studies. Conclusions and recommendations of the CEEM Soil project, The Science of The Total Environment. 264, 103-118.

- WAGNER G., MOHR M. E., SPRENGART J., et al. (2001b): Objectives, concept and design of the CEEM soil project. *Sci. Total Environ.*, 264, 3-15.
- WAGNER G., SPRENGART J., DESAULES A., MUNTAU H., THEOCHAROPOULOS S., QUEVAUVILLER P. (1998): Comparative evaluation of European methods for sampling and sample preparation of soils. Design and state of the CEEM soil project. Workshop on Soils in Europe. Berlin.
- WAGNER, G., MOHR, M.E., SPRENGART, J., DESAULES, A., THEOCHAROPOULOS, S., MUNTAU, H., REHNERT, A., LISCHER, P. & QUEVAUVILLER, P. (2000): Comparative evaluation of European methods for sampling and sample preparation of soils. Comparative Evaluation of European Methods for Sampling and Sample Preparation of Soils. *The Science of the Total Environment*, 264, 204 p.
- WAGNER, G., MOHR, M-E., SPRENGART, J., DESAULES, A., MUNTAU, H., THEOCHAROPOULOS, S. & QUEVAUVILLER, P. (2001): Objectives, concept and design of the CEEM soil project. *The Science of the Total Environment*, 264, 3-15.
- WAGNER, G.J.; YERGAN, R. (1986) Variation in Cd accumulation potencial and tissue distribution of Cd in tobacco. *Plant Physiol.* 1986, 82, 274-279.
- WAGNER, G.J.; YERGAN, R. 1986. Variation in Cd accumulation potential and tissue distribution of Cd in tobacco. *Plant Physiol.* 1986, 82, 274-279.
- WALKLEY A., BLACK J. A. (1974): A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *J. Soil. Sci.* 63251-254.
- WARD N.I. (1995): Trace elements. *Environmental Analytical Chemistry*. Ed. by FW Fifield and P.J. Haines. Capman & Hall.
- WENNING R.J., ERICKSON G.A. (1994): Interpretation and analysis of complex environmental data using chemometric methods. *Trend. Anal. Chem.*, 13, 446-447.
- WESCOT, D. W. AND R. S. AYERS (1985). Irrigation water quality. In Pettygrove, G.S. and T. Asano (eds.) *Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater – A Guidance Manual*. Lewis Pub., Inc./CRC Press, Boca Raton, FL.
- WILLIAMS L, E., PITTMAN J, K., HALL., J.L. (2000). Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochimica et Biophysica Acta* 1465, 104-126.

- XUEYI G. y INOUE K. (2003): Elution of copper from vermiculite with environmentally benign reagents. *Hydrometallurgy*, 70, Issues 1-3, 9-21.
- YAGODIN B. A. (1986) *Agroquímica*. Edición en Español. Moscú. 1986
- YAMANE, I.; OKAZAK, M. (1983) Adsorption of Heavy Metals by Soil Ingredient: Heavy Metals and Environment; Environmental Special Study: Tokyo, 1983.
- YANZHENG GAO, JIZHENG HE, WANTING LING, HONG QING HU, FAN LIU (2003): Effects of organic acids on copper and cadmium desorption from contaminated soils. *Environment International*, 29, Issue 5, 613-618.
- ZOIDO F. y C. VENEGAS (2002) *Paisaje y Ordenación del Territorio*, Consejería de Obras Publicas y Transporte/ Fundación Duques de Soria, Junta de Andalucía, Sevilla, 353 pp.
- ZONNEVELD, I. S. (1995) *Land Ecology*, SPB Academic Publication Amsterdam, 199 pp.

Anexo 01

Base de datos de MapInfo para las cooperativas estudiadas.

CCS	No. Campo	Propietario	Área total	Tabaco	pH	Ca	Mg	K	Na	Valor S	Valor T	Valor V
FB	1	Restituto Acosta	3.80	3.80	4.4	1.200	0.860	0.350	0.040	2.450	5.700	42.982
FB	2	Andrés Rojas	1.80	1.80	5.6	2.360	0.490	0.400	0.040	3.290	6.080	54.112
FB	3	Jorge L. López	3.50	2.67	3.8	1.320	0.980	0.310	0.040	2.650	5.320	49.812
FB	4	Rafael Rodríguez	1.40	1.40	5.0	2.360	0.440	0.400	0.050	3.250	6.080	53.454
FB	5	Caridad Córdova	2.45	2.45	4.8	1.160	0.500	0.230	0.060	1.950	4.180	46.651
FB	6	Alberto Ruiz	1.40	1.40	4.5	1.200	0.210	0.150	0.070	1.630	3.800	42.895
FB	7	Rodolfo Gutiérrez	1.08	1.08	5.8	4.360	0.130	0.480	0.040	5.010	7.220	69.391
FB	8	Evelio Hdez Call.	0.37	0.37	5.1	1.920	0.180	0.310	0.040	2.450	5.320	46.053
FB	9	Pedro L. Vento	3.40	1.75	3.8	1.320	0.530	0.300	0.050	2.200	5.320	41.353
FB	9	Gustavo Vento	1.62	1.62	6.4	4.880	0.680	0.570	0.040	6.170	7.980	77.318
FB	10	Hipólito Vento	2.45	2.45	5.5	3.440	1.470	0.620	0.060	5.590	8.360	66.866
FB	11	Carlos M. López	3.80	3.80	6.0	5.920	0.610	0.860	0.080	7.470	8.800	84.886
FB	12	Santiago Delgado	1.40	1.40	3.8	1.320	0.410	0.270	0.040	2.040	4.560	44.737
FB	13	Isabel Macías	2.65	2.65	4.8	2.360	1.160	0.440	0.080	4.040	6.460	62.539
FB	14	Teverio Álvarez	0.64	0.64	3.8	1.920	0.470	0.350	0.040	2.780	5.700	48.772
FB	16	Secundino Delgado	2.10	1.08	4.0	1.160	0.720	0.310	0.040	2.230	5.320	41.917
FB	17	Ángel Duque	0.40	0.40	4.3	3.560	0.870	0.480	0.040	4.950	6.840	72.368
FB	18	Antonio A. de la C.	3.90	2.40	5.0	3.800	0.170	0.480	0.040	4.490	6.840	65.643
FB	19	Pedro Peral Rguez	1.08	1.08	3.8	1.000	0.370	0.150	0.040	1.560	3.800	41.053
FB	20	Tomás Estévez	7.30	3.10	5.0	3.800	0.740	0.480	0.080	5.100	6.840	74.561
FB	21	José A. Estévez	2.50	2.30	5.6	5.720	0.610	0.710	0.050	7.090	8.400	84.405
FB	22	Francisco Pardo	5.50	4.00	3.6	2.000	0.340	0.310	0.080	2.730	5.700	47.895
FB	23	Antonia Glez	7.55	2.45	4.8	1.760	0.960	0.400	0.080	3.200	6.080	52.632
FB	24	José A. Barrera	4.76	2.56	3.7	1.600	0.260	0.270	0.080	2.210	4.700	47.021
FB	25	José M. Rguez	52.30	1.40	4.4	2.640	0.080	0.400	0.040	3.160	6.080	51.974
FB	26	Lugarda Villafranca	5.00	0.75	3.6	1.680	0.060	0.270	0.080	2.090	4.940	42.308

FB	27	Félix García	5.65	3.55	3.9	2.560	1.620	0.480	0.060	4.720	6.840	69.006
FB	28	Carlos Martínez	1.45	1.45	3.7	1.160	1.140	0.310	0.070	2.680	5.320	50.376
FB	29	Mario L. Rguez	4.12	1.62	3.7	1.600	0.270	0.270	0.040	2.180	4.560	47.807
FB	30	Modesto Abascal	5.05	4.05	4.0	1.000	0.600	0.270	0.050	1.920	4.560	42.105
FB	31	Luis E. Hdez	2.50	1.40	3.9	1.760	0.250	0.310	0.060	2.380	5.320	44.737
FB	32	José R. Glez	1.62	1.62	6.4	5.520	0.330	0.610	0.070	6.530	8.360	78.110
FB	33	Juan B. Rguez	3.80	2.70	4.4	3.000	0.290	0.400	0.040	3.730	6.460	57.740
FB	34	Rubén Travieso	1.40	1.40	3.6	1.760	0.100	0.270	0.050	2.180	4.940	44.130
FB	35	Raúl Policarpio	2.10	2.10	5.6	3.800	0.820	0.520	0.080	5.220	7.600	68.684
FB	36	Luis A. Rodríguez	2.60	1.40	3.8	1.600	0.230	0.310	0.040	2.180	5.320	40.977
FB	37	Eduardo Piñero	3.80	1.90	3.9	1.920	0.090	0.310	0.050	2.370	5.320	44.549
FB	38	Julían González	7.01	3.80	4.2	1.320	0.320	0.270	0.080	1.990	4.940	40.283
FB	39	Eusebio M. Delgado	2.95	0.95	3.9	1.960	0.800	0.400	0.060	3.220	6.080	52.961
FB	40	Leonardo Delgado	1.08	1.08	4.6	4.200	0.720	0.520	0.040	5.480	7.600	72.105
FB	41	Rigoberto Serrano	1.80	1.80	4.1	2.200	1.280	0.440	0.080	4.000	6.460	61.920
FB	42	Caridad Domínguez	1.35	0.85	4.3	2.760	0.720	0.440	0.040	3.960	6.460	61.300
FB	43	Caridad León	2.15	1.90	4.0	2.200	0.330	0.350	0.040	2.920	5.700	51.228
FB	44	Josefa Hernández	1.90	1.90	3.7	1.220	0.150	0.190	0.040	1.600	4.180	38.278
FB	45	Lucrecia Quintana	0.85	0.85	5.8	4.600	0.250	0.520	0.040	5.410	7.600	71.184
FB	46	Efraín Hernández	0.54	0.54	3.9	1.400	0.140	0.190	0.040	1.770	3.800	46.579
FB	47	Tomás E. Núñez	1.25	1.25	3.8	1.360	0.320	0.230	0.040	1.950	4.180	46.651
FB	48	Creciliano Borresco	1.86	0.86	4.7	1.960	0.760	0.400	0.080	3.200	6.080	52.632
FB	49	Evelio Hernández	2.25	1.25	4.0	2.320	0.030	0.310	0.040	2.700	5.320	50.752
FB	50	Félix Baloy	3.08	1.08	4.1	2.960	1.330	0.480	0.040	4.810	6.840	70.322
FB	51	Juan M. Marín	1.82	0.82	5.4	3.240	0.510	0.440	0.040	4.230	6.460	65.480
FB	52	Eventeria Villaf.	1.64	0.54	4.1	4.560	0.910	0.570	0.080	6.120	7.980	76.692
FB	53	Esmel Ramos	0.95	0.95	5.7	3.680	1.020	0.520	0.080	5.300	7.600	69.737
FB	54	Esmel Ramos	0.45	0.45	3.7	1.920	0.500	0.350	0.050	2.820	6.080	46.382
FB	55	Antonio Hdez Glez	3.10	3.10	5.5	5.200	0.380	0.620	0.040	6.240	8.360	74.641
FB	56	Eloy Maragoto	2.60	1.40	4.0	2.280	0.290	0.400	0.040	3.010	6.080	49.507
FB	56a	Iluminada Maragoto	1.40	1.40	4.0	2.280	0.290	0.400	0.040	3.010	6.080	49.507
FB	57	José M. Dmguez	2.26	0.86	4.2	1.960	0.340	0.310	0.060	2.670	5.320	50.188
FB	58	Esteban García	1.75	0.75	5.5	7.120	0.680	1.420	0.080	9.300	10.360	89.768

FB	59	José L. Díaz	2.62	1.62	3.7	1.760	0.290	0.270	0.070	2.390	5.320	44.925
FB	60	Julia Pruna	3.91	1.51	7.3	6.700	1.250	0.900	0.050	8.900	10.300	86.408
FB	61	Evercio Florentino	0.95	0.95	6.5	5.960	0.430	0.810	0.040	7.240	8.730	82.932
FB	62	Maria A. Hdez	0.64	0.64	4.4	1.480	0.900	0.350	0.060	2.790	5.700	48.947
FB	63	Orlando Peña	2.70	2.70	4.5	4.920	0.210	0.570	0.060	5.760	7.980	72.180
FB	64	Olga S. Hdez	6.46	2.45	5.5	3.800	0.460	0.480	0.080	4.820	6.840	70.468
FB	65	Alberto Gelasio	3.95	1.95	4.6	2.920	0.670	0.440	0.080	4.110	6.460	63.622
FB	66	Félix Villafranca	1.81	1.81	3.7	1.360	0.330	0.190	0.040	1.920	3.800	50.526
FB	67	Ignacio Oliva	2.40	1.90	3.9	2.160	0.120	0.310	0.040	2.630	5.700	46.140
FB	68	Lázaro Martínez	1.58	1.58	4.0	2.400	0.080	0.400	0.080	2.960	6.080	48.684
FB	69	Benito Chico	0.27	0.27	3.8	2.960	0.260	0.440	0.070	3.730	6.460	57.740
FB	70	Estedia Milán	2.30	0.40	5.7	5.200	0.230	0.570	0.080	6.080	7.980	76.190
FB	71	Ricardo Rivera	9.52	1.75	5.3	4.440	0.280	0.520	0.040	5.280	7.220	73.130
FB	72	Jesús Rivera	1.48	1.48	7.0	5.400	0.900	0.710	0.040	7.050	8.360	84.330
FB	72	Miguel Rivera	2.05	1.05	3.4	1.000	0.500	0.270	0.050	1.820	4.180	43.541
FB	73	Escolástico Borges	25.98	5.67	3.4	0.960	0.370	0.150	0.060	1.540	3.800	40.526
FB	73	Leonardo Vega	1.35	1.35	3.8	1.560	0.250	0.270	0.080	2.160	4.940	43.725
FB	74	Leonel Delgado	4.85	1.35	3.6	2.760	1.560	0.480	0.080	4.880	6.840	71.345
FB	75	Antonio Delgado	3.63	1.08	3.6	2.000	0.020	0.270	0.050	2.340	4.940	47.368
FB	75	CPA Antonio Guiteras	98.79	36.23	4.3	3.720	1.140	0.570	0.040	5.470	7.980	68.546
FB	78	Josefa Hdez	2.33	-	3.8	1.320	0.980	0.270	0.040	2.610	5.700	45.789
FB	79	Hilario Amador	1.01	-	3.8	1.000	0.370	0.440	0.040	1.850	5.320	34.774
FB	80	Carlos García	0.42	-	3.8	1.000	0.370	0.440	0.040	1.850	5.320	34.774
FB	81	Luis Rguez Vento	2.90	-	4.3	2.160	0.380	0.310	0.040	2.890	6.080	47.533
TL	1	Guillermo Rguez	3.19	0.89	5.3	6.200	0.800	0.520	0.060	7.580	10.190	74.387
TL	2	Guillermo Rguez	1.62	1.62	4.0	2.720	0.590	0.190	0.080	3.580	5.480	65.328
TL	3	Osirio Yon Puentes	0.89	0.89	5.2	5.040	0.840	0.440	0.070	6.390	8.620	74.130
TL	4	Tomas Rguez	2.10	1.10	4.2	2.800	1.900	0.350	0.080	5.130	7.840	65.434
TL	5	Felix Rguez Barrera	1.81	0.81	3.8	1.040	1.310	0.150	0.080	2.580	4.700	54.894
TL	6	Fidel Yon Padrino	1.68	0.81	4.2	2.800	1.900	0.400	0.080	5.180	7.840	66.071
TL	7	Santiago Barrera	1.09	0.59	6.5	2.560	1.670	0.330	0.080	4.640	7.440	62.366
TL	8	Pedro González	1.00	1.00	4.7	4.640	1.630	0.450	0.050	6.770	8.620	78.538
TL	9	Alberto Véliz	1.75	1.35	4.0	2.240	1.680	0.230	0.060	4.210	6.270	67.145

TL	10	Justo Díaz	0.62	0.62	4.0	2.800	1.900	0.400	0.050	5.150	8.230	62.576
TL	11	Maximiliano Barrera	1.08	1.08	4.2	2.800	0.960	0.230	0.060	4.050	6.660	60.811
TL	12	Enrique Rguez	2.16	2.16	4.3	2.560	1.360	0.270	0.080	4.270	7.060	60.482
TL	13	Maximiliano Barrera	1.02	1.02	4.9	2.320	0.960	0.190	0.070	3.540	5.480	64.599
TL	14	Lázaro Veliz	1.35	1.35	4.8	1.920	0.820	0.190	0.040	2.970	5.480	54.197
TL	15	José M. Martínez	3.56	3.56	4.0	2.320	0.600	0.190	0.050	3.160	5.480	57.664
TL	16	Juana Fernández	8.91	2.16	4.2	3.800	1.080	0.400	0.060	5.340	8.230	64.885
TL	17	Joaquín E. Cevallos	2.83	1.83	5.4	3.200	0.320	0.230	0.080	3.830	6.270	61.085
TL	18	Ricelo Torres	1.70	1.70	5.3	2.320	1.990	0.270	0.050	4.630	7.060	65.581
TL	19	Osirio Torres	2.21	2.21	4.2	2.000	1.010	0.190	0.060	3.260	5.480	59.489
TL	20	Joaquín E. Cevallos	0.43	0.43	4.3	2.000	0.750	0.190	0.080	3.020	5.480	55.109
TL	21	Antonio Acosta	2.16	2.16	5.0	3.200	0.690	0.270	0.080	4.240	6.660	63.664
TL	22	Denis R. Torres	1.48	1.48	4.8	3.640	1.410	0.400	0.070	5.520	8.230	67.072
TL	23	Emelina C. López	0.54	0.54	5.3	2.960	0.740	0.230	0.060	3.990	6.660	59.910
TL	24	Serguei Peña	1.48	1.48	5.5	5.520	0.750	0.480	0.050	6.800	8.700	78.161
TL	25	Javier Díaz	1.35	1.35	4.7	3.200	0.690	0.230	0.050	4.170	6.660	62.613
TL	26	Julio Iglesias	1.35	1.35	4.5	2.880	1.430	0.310	0.060	4.680	7.060	66.289
TL	27	Félix de la Nuez	0.54	0.54	6.5	5.040	0.440	0.400	0.080	5.960	8.230	72.418
TL	28	Ramón González	0.75	0.75	4.1	2.400	1.520	0.270	0.060	4.250	7.050	60.284
TL	29	Juan J. Fernández	1.62	0.62	4.7	2.800	0.900	0.230	0.050	3.980	6.270	63.477
TL	30	Ricelo Torres	0.91	0.91	5.3	2.320	1.990	0.310	0.060	4.680	7.060	66.289
TL	31	Felix Pérez	0.27	0.27	4.2	3.360	1.010	0.310	0.070	4.750	7.440	63.844
TL	32	Ramón Hernández	0.81	0.81	4.7	5.500	1.630	0.520	0.080	7.730	10.190	75.859
TL	33	Marcelo Hernández	5.20	5.20	5.0	3.280	1.810	0.400	0.050	5.540	8.230	67.315
TL	34	Ignacio Rivero	0.67	0.67	4.4	3.120	0.900	0.270	0.080	4.370	7.060	61.898
TL	35	Carlos Blanco	1.35	1.35	5.2	3.600	0.670	0.350	0.080	4.700	7.840	59.949
TL	36	Armando Rguez	1.08	1.08	4.9	4.480	1.000	0.440	0.060	5.980	8.400	71.190
TL	37	Santiago Delgado	2.02	1.02	5.3	6.000	1.720	0.620	0.080	8.420	10.580	79.584
TL	38	Caridad Díaz	1.35	1.35	7.0	6.300	1.070	0.570	0.070	8.010	10.400	77.019
TL	39	Esperanza Betancourt	2.62	2.62	4.5	3.120	1.010	0.270	0.050	4.450	6.700	66.418
TL	40	Daniel Corrales	1.62	1.62	5.2	4.280	1.380	0.440	0.060	6.160	8.620	71.462
TL	41	Jorge L. Guerra	1.89	1.89	4.4	3.760	0.550	0.350	0.040	4.700	7.840	59.949
TL	42	Fernando Cabeza	1.35	1.35	5.2	5.400	0.260	0.480	0.050	6.190	9.400	65.851

TL	43	Carlos Cabeza	2.30	2.30	5.3	5.360	0.520	0.480	0.060	6.420	9.010	71.254
TL	44	Rolando Acosta	2.16	2.16	4.8	3.600	1.490	0.400	0.070	5.560	8.230	67.558
TL	45	Nidia Díaz	0.75	0.75	4.5	3.600	0.710	0.400	0.050	4.760	8.140	58.477
TL	46	Mateo Carrodegua	0.94	0.94	4.2	2.400	1.910	0.350	0.080	4.740	7.840	60.459
TL	47	Julio Carrodegua	0.94	0.94	4.5	4.000	0.310	0.350	0.060	4.720	7.840	60.204
TL	48	Oslirio Aguiar	1.54	1.54	6.4	5.640	1.490	0.520	0.080	7.730	10.190	75.859
TL	49	José C. González	1.35	1.35	6.7	7.600	0.840	0.620	0.070	9.130	10.700	85.327
TL	50	Carlos Duarte	1.35	1.35	6.9	7.800	1.360	0.950	0.050	10.160	12.930	78.577
TL	51	Elio L. Rguez	0.67	0.67	6.3	7.200	1.240	0.760	0.080	9.280	11.360	81.690
TL	52	Rodolfo Macias	1.62	1.62	6.4	7.000	1.400	0.710	0.060	9.170	10.970	83.592
TL	53	Mateo Peña	2.16	2.16	5.4	3.240	1.240	0.350	0.080	4.910	7.840	62.628
TL	54	Ramón Suárez	1.64	1.64	5.7	6.120	0.480	0.480	0.080	7.160	9.400	76.170
TL	55	Mateo Peña	4.40	4.40	5.3	5.480	0.690	0.480	0.080	6.730	9.400	71.596
TL	56	Elvira M. Escobar	8.58	6.08	4.9	4.120	0.210	0.330	0.050	4.710	7.440	63.306
TL	57	Máximo Suárez	2.85	2.35	6.1	5.320	1.240	0.520	0.060	7.140	9.800	72.857
TL	58	Julia Alberto	1.35	1.35	6.0	5.760	0.510	0.480	0.080	6.830	9.400	72.660
TL	59	Fernando Guerra	0.97	0.97	5.0	4.280	0.320	0.400	0.080	5.080	8.230	61.725
TL	60	Fernando Guerra	0.84	0.84	5.3	5.520	0.750	0.520	0.040	6.830	9.800	69.694
TL	61	Alberto Trujillo	3.35	2.43	5.0	5.000	1.050	0.500	0.040	6.590	9.400	70.106
TL	62	Daniel Gómez	7.87	4.97	4.9	3.520	0.690	0.350	0.080	4.640	7.840	59.184
TL	63	Jorge L. Cabrera	1.89	1.89	4.6	5.200	0.680	0.440	0.080	6.400	8.620	74.246
TL	64	Pedro Guerra	1.89	1.89	5.4	5.600	0.280	0.440	0.080	6.400	8.620	74.246
TL	65	Aniceto P. Suárez	1.75	1.75	4.1	2.560	0.960	0.230	0.080	3.830	6.270	61.085
TL	66	Gustavo Valdez	2.97	0.67	3.9	2.000	0.740	0.190	0.040	2.970	5.090	58.350
TL	67	Ramón Suárez	0.62	0.62	5.2	4.560	0.510	0.400	0.050	5.520	8.230	67.072
TL	68	Luisa González	2.01	0.81	4.5	4.100	0.510	0.350	0.060	5.020	7.840	64.031
TL	69	Flores Rodríguez	4.05	0.67	4.2	2.560	1.360	0.270	0.080	4.270	6.660	64.114
TL	70	Jesús Peláez	4.94	2.70	5.3	4.240	1.030	0.440	0.040	5.750	8.400	68.452
TL	71	Julio Carrodegua	5.28	1.67	5.1	5.200	1.010	0.480	0.080	6.770	9.400	72.021
TL	72	Gerardo Carrodegua	0.94	0.94	4.4	4.240	1.640	0.440	0.080	6.400	8.620	74.246
TL	73	Pedro Montpellier	0.67	0.67	4.7	5.440	1.190	0.480	0.080	7.190	9.400	76.489
TL	74	Gerardo Carrodegua	2.70	0.40	4.9	7.400	1.280	0.770	0.080	9.530	12.150	78.436
TL	75	Fernando Iglesias	4.11	1.91	7.4	7.400	1.750	1.000	0.050	10.200	13.720	74.344

TL	76	Juan Bruno Iglesias	1.35	1.35	3.8	1.760	0.980	0.190	0.040	2.970	5.480	54.197
TL	77	Antonio Acosta	1.08	1.08	4.2	4.000	0.700	0.400	0.040	5.140	7.840	65.561
TL	90	Evaristo Mompeller	4.30	-	5.7	2.850	1.010	0.270	0.080	4.210	5.300	79.434
TL	91	Conrado Peraza	1.26	-	5.6	2.620	1.250	0.270	0.080	4.220	5.210	80.998
TL	92	Juan Ordaz Cruz	8.24	-	5.5	2.400	0.690	0.270	0.080	3.440	4.920	69.919
TL	93	Adelo Gómez	6.45	-	4.9	2.600	0.690	0.190	0.080	3.560	5.100	69.804
TL	94	Pedro C. Brito	1.69	-	4.2	2.400	1.010	0.250	0.040	3.700	6.020	61.462
TL	95	Juan J. Villar	3.57	-	4.1	2.300	1.010	0.250	0.040	3.600	6.000	60.000
TL	96	Fernando García	6.73	-	4.9	1.960	0.790	0.150	0.040	2.940	5.360	54.851
TL	97	Pablo P. Lezcano	1.50	-	4.8	1.940	0.790	0.150	0.080	2.960	5.480	54.015
TL	98	Reinaldo García	2.90	-	4.7	1.960	0.690	0.150	0.100	2.900	5.860	49.488
TL	99	Guillermo Ilanes	1.71	-	4.8	2.320	1.040	0.250	0.100	3.710	6.540	56.728
TL	100	Bienvenido López	1.23	-	5.9	3.800	1.040	0.270	0.080	5.190	7.060	73.513
TL	101	Mariana Hdez	1.44	-	5.9	3.240	0.070	0.150	0.030	3.490	5.880	59.354
TL	102	Ricardo Cabrera	0.78	-	4.3	5.200	0.760	0.190	0.160	6.310	9.010	70.033
TL	103	Márgaro Peña	1.47	-	4.8	3.000	0.690	0.150	0.080	3.920	6.000	65.333
TL	104	Alfredo de la Nuez	0.60	-	5.3	2.960	0.740	0.440	0.160	4.300	5.090	84.479
TL	105	Caridad Echevarría	0.61	-	4.9	2.600	0.740	0.250	0.100	3.690	5.650	65.310
TL	106	Juan José Hdez	1.40	-	4.7	2.650	0.820	0.150	0.100	3.720	5.700	65.263
TL	107	Santiago Cruz	2.13	-	4.8	2.750	0.600	0.250	0.080	3.680	5.450	67.523
TL	108	Osirio Izquierdo	0.56	-	4.8	3.000	0.690	0.200	0.100	3.990	6.220	64.148
TL	109	Pedro Acosta	5.90	-	5.8	3.540	1.010	0.250	0.040	4.840	7.010	69.044
TL	110	Mariano Cabrera	2.79	-	5.6	3.700	0.970	0.480	0.040	5.190	7.220	71.884
TL	111	René Peña	10.77	-	4.9	2.500	0.870	0.740	0.040	4.150	5.010	82.834
TL	112	Esterbina García	6.33	-	5.4	2.950	1.000	0.480	0.050	4.480	5.700	78.596
TL	113	Alejandro Padrón	26.49	-	5.7	2.950	1.000	0.480	0.030	4.460	5.700	78.246
TL	114	Julio Carrodegua	6.38	-	5.5	2.540	1.040	0.250	0.040	3.870	4.940	78.340
TV	1	Osvaldo López	0.81	0.81	4.8	2.720	0.120	0.350	0.080	3.270	5.700	57.368
TV	2	Santiago Cruz	4.32	4.32	4.3	2.880	0.230	0.460	0.080	3.650	6.320	57.753
TV	3	Segundo Concha	2.56	2.56	6.0	5.200	0.600	0.690	0.080	6.570	8.700	75.517
TV	4	Engracio Cruz	2.21	2.21	5.5	4.560	0.350	0.670	0.080	5.660	7.980	70.927
TV	5	Leonardo Benítez	1.37	1.37	4.3	2.700	0.690	0.480	0.080	3.950	6.700	58.955
TV	7	Loreto Márquez	1.35	1.35	4.4	2.700	0.460	0.480	0.080	3.720	6.500	57.231

TV	8	Vicente Valdés	2.70	2.70	4.3	2.800	0.230	0.450	0.080	3.560	6.080	58.553
TV	10	Esteban Márquez	1.24	1.24	3.9	1.000	0.310	0.190	0.040	1.540	4.920	31.301
TV	11	Armando Morejón	0.67	0.67	5.3	8.000	0.620	0.830	0.060	9.510	14.420	65.950
TV	12	Umbelina Morejón	0.43	0.43	3.9	1.000	0.220	0.150	0.040	1.410	4.150	33.976
TV	13	Juana Morejón	1.78	1.78	4.5	2.080	0.790	0.360	0.080	3.310	6.000	55.167
TV	14	Osmany Morejón	0.94	0.94	4.4	2.400	0.310	0.350	0.080	3.140	5.400	58.148
TV	15	Pablo Padrino	4.05	4.05	5.9	2.640	0.350	0.370	0.080	3.440	6.000	57.333
TV	16	Juan C. Rguez	1.08	1.08	5.5	2.680	0.930	0.480	0.050	4.140	7.100	58.310
TV	17	Mario Suárez	0.40	0.40	4.0	6.400	0.640	0.710	0.080	7.830	9.600	81.563
TV	18	Juan Camejo Guev.	0.81	0.81	4.0	2.380	0.590	0.460	0.080	3.510	6.080	57.730
TV	19	Sixto Camero	0.81	0.81	5.3	1.880	0.610	0.250	0.080	2.820	5.320	53.008
TV	20	Cándido Caraballo	0.40	0.40	5.1	1.400	0.310	0.210	0.040	1.960	4.940	39.676
TV	21	Pedro Concha P.	2.16	2.16	4.9	2.000	0.590	0.300	0.080	2.970	5.320	55.827
TV	22	Adela Acosta	7.50	1.10	4.8	1.400	0.620	0.210	0.040	2.270	5.320	42.669
TV	23	Bábaro Morejón	2.08	1.08	4.9	2.380	0.620	0.400	0.040	3.440	6.020	57.143
TV	24	Juan M. Barrera	3.15	3.15	4.0	2.280	0.110	0.350	0.080	2.820	5.400	52.222
TV	25	Rodolfo Hdez	4.40	1.90	4.7	2.680	0.170	0.400	0.080	3.330	6.080	54.770
TV	26	Segundo Vera	8.18	3.18	4.8	1.400	0.580	0.210	0.040	2.230	5.320	41.917
TV	27	Andrés Forteza	4.98	1.48	5.8	3.520	0.250	0.480	0.070	4.320	7.260	59.504
TV	28	Vicente Duarte	2.50	1.70	3.9	1.160	0.120	0.150	0.050	1.480	4.180	35.407
TV	29	Alfredo Valdés	6.12	1.62	5.8	3.880	0.490	0.600	0.060	5.030	7.600	66.184
TV	30	Lucilo Vera	7.00	2.18	5.5	2.680	0.930	0.480	0.070	4.160	7.220	57.618
TV	31	Ramón Gil Álvarez	7.50	2.56	4.0	2.480	0.490	0.460	0.080	3.510	6.080	57.730
TV	32	Daniel Cáceres	14.50	1.70	5.8	3.520	0.350	0.480	0.050	4.400	7.220	60.942
TV	33A	Humberto Álvarez	11.94	3.37	4.3	2.880	0.460	0.480	0.060	3.880	7.260	53.444
TV	33B	Antonio Álvarez	2.02	2.02	4.3	2.010	1.140	0.400	0.080	3.630	6.080	59.704
TV	33C	Gerardo Álvarez	2.02	2.02	5.1	2.690	1.020	0.480	0.080	4.270	7.400	57.703
TV	34	Roberto García	8.47	0.67	5.1	3.000	0.700	0.480	0.080	4.260	7.220	59.003
TV	35	Carlos Valladares	2.08	1.08	5.2	3.250	0.850	0.560	0.080	4.740	7.600	62.368
TV	36	Leonardo Valladar.	0.43	0.43	4.9	2.320	0.250	0.230	0.040	2.840	5.320	53.383
TV	37	Lázaro M. Quint.	1.35	1.35	5.3	3.000	0.690	0.480	0.050	4.220	6.750	62.519
TV	38	UBPC Tabarico	18.10	18.10	5.0	3.200	0.880	0.600	0.060	4.740	7.600	62.368
TV	39	UBPC Tabarico	20.13	20.13	5.0	4.180	0.430	0.600	0.070	5.280	7.980	66.165

TV	40	Dulce Rodríguez	2.83	-	5.0	2.140	0.670	0.480	0.080	3.370	6.540	51.529
TV	41	Alfonso Valladares	3.91	-	5.0	1.180	0.670	0.480	0.080	2.410	6.300	38.254
TV	42	Pedro Silva med.	4.49	-	5.0	1.180	0.460	0.240	0.100	1.980	6.100	32.459
TV	43	Ramón Morejón	1.70	-	5.1	1.700	0.360	0.240	0.100	2.400	7.200	33.333
TV	44	Marcelino Benítez	2.11	-	5.1	2.880	0.670	0.480	0.100	4.130	7.400	55.811
TV	45	Humberto Acosta	0.68	-	5.5	2.680	0.980	0.480	0.160	4.300	6.080	70.724
TV	46	Alejandro Barceló	3.57	-	5.5	2.140	0.600	0.380	0.080	3.200	6.100	52.459
TV	47	Esequiel Moreno	0.60	-	4.0	2.280	0.110	0.480	0.080	2.950	5.320	55.451
TV	48	Alejandro Morejón	1.24	-	5.8	3.020	0.650	0.220	0.080	3.970	4.900	81.020
TV	49	Moisés Blanco	4.32	-	5.9	2.980	0.690	0.350	0.160	4.180	5.100	81.961
TV	50	Juana M. Trujillo	2.10	-	5.7	3.020	0.690	0.350	0.100	4.160	5.200	80.000
TV	51	Fernando Hdez	0.69	-	4.3	2.880	0.230	0.480	0.080	3.670	7.980	45.990
TV	52	Lorenzo Nieves	0.71	-	5.4	3.250	0.820	0.350	0.040	4.460	5.900	75.593
TV	53	Alberto Montano	0.22	-	5.3	3.400	0.800	0.250	0.040	4.490	5.800	77.414
TV	54	Prudencio León	0.39	-	5.6	3.100	0.790	0.250	0.040	4.180	5.250	79.619
TV	56	Zoraida Álvarez	5.78	-	5.7	2.950	0.690	0.150	0.080	3.870	4.950	78.182
TV	58	Leonardo Benítez	51.00	51.00	5.6	3.600	0.690	0.500	0.080	4.870	7.600	64.079

CCS	No. Campo	K ₂ O	P ₂ O ₅	Materia orgánica	Humedad higroscópica	Categoría agroprod.	TIPO	Sub Tipo	Material basal	Saturación
FB	1	21.800	19.100	0.910	2.100	I	1	1	1	1
FB	2	26.400	21.000	1.220	2.400	II	1	1	1	2
FB	3	19.000	17.500	0.760	1.000	II	1	1	1	2
FB	4	23.700	20.000	1.070	1.900	II	1	1	1	2
FB	5	13.300	15.000	0.610	1.400	II	1	1	1	2
FB	6	10.900	12.000	0.450	1.200	II	1	1	1	2
FB	7	29.400	24.700	1.530	1.700	II	1	1	1	2
FB	8	19.900	17.500	0.760	2.000	I	1	1	1	1
FB	9	18.500	16.700	0.760	2.000	II	1	1	1	2
FB	9	38.900	28.500	1.680	2.000	II	1	1	1	2
FB	10	41.800	30.400	1.830	2.100	I	1	1	1	1
FB	11	47.500	37.100	1.980	2.200	II	1	1	1	2
FB	12	16.000	15.000	0.610	1.700	II	1	1	1	2
FB	13	27.800	22.800	1.370	2.200	II	1	1	1	2
FB	14	21.800	19.200	0.910	1.300	II	1	1	1	2
FB	16	18.500	16.700	0.760	1.100	I	4	2	2	2
FB	17	28.500	23.700	1.500	2.200	I	4	2	2	2
FB	18	28.500	23.800	1.530	2.700	II	2	1	1	1
FB	19	10.900	13.000	0.450	1.700	II	4	3	3	1
FB	20	28.700	23.800	1.530	2.700	II	2	1	1	2
FB	21	41.800	36.200	1.980	2.200	II	2	1	1	2
FB	22	20.900	19.100	0.910	2.200	II	2	1	1	2
FB	23	25.800	21.000	1.220	1.700	II	1	1	1	2
FB	24	16.100	15.000	0.610	1.200	II	2	1	1	2
FB	25	26.400	21.000	1.220	2.600	II	3	1	4	1
FB	26	18.000	15.800	0.760	1.400	II	2	1	1	2
FB	27	28.500	22.800	1.370	1.700	II	2	1	1	2
FB	28	20.400	19.100	0.910	2.200	II	2	1	1	2
FB	29	15.700	15.000	0.610	2.200	II	2	1	1	2
FB	30	15.200	15.000	0.610	2.200	II	2	1	1	2

FB	31	19.000	17.200	0.760	2.400	II	2	1	1	2
FB	32	39.900	29.500	1.790	2.100	II	2	1	1	2
FB	33	26.500	21.100	1.220	2.000	II	2	1	1	2
FB	34	18.000	16.600	0.760	1.100	II	1	1	1	2
FB	35	34.200	26.700	1.530	1.700	II	1	1	1	2
FB	36	18.500	16.700	0.760	2.300	I	4	2	2	2
FB	37	19.000	16.700	0.760	1.300	II	2	1	1	2
FB	38	17.300	15.800	0.760	1.300	II	2	1	1	2
FB	39	26.000	21.000	1.220	2.400	II	2	1	1	2
FB	40	34.200	26.700	1.530	1.400	II	2	1	1	2
FB	41	26.500	22.000	1.220	2.000	II	1	1	1	2
FB	42	26.900	22.000	1.370	2.200	II	1	1	1	2
FB	43	21.800	19.200	0.910	2.100	II	4	2	3	1
FB	44	12.300	14.000	0.450	2.300	II	4	2	3	1
FB	45	32.300	25.800	1.530	2.000	II	4	2	3	1
FB	46	11.900	13.000	0.450	1.700	II	4	2	3	1
FB	47	12.800	14.000	0.610	2.000	II	4	2	3	1
FB	48	24.500	21.000	1.070	2.000	II	4	2	3	1
FB	49	19.000	17.500	0.760	1.000	II	4	2	3	1
FB	50	27.800	22.800	1.370	1.700	II	4	2	3	1
FB	51	27.500	22.000	1.370	1.400	II	4	2	3	1
FB	52	36.100	27.800	1.530	1.700	II	4	3	3	1
FB	53	30.400	25.700	1.530	2.400	II	1	1	1	2
FB	54	22.800	20.000	0.910	1.900	II	2	1	1	2
FB	55	41.800	29.800	1.830	2.800	II	2	1	1	2
FB	56	23.700	20.000	1.070	1.700	II	2	1	1	2
FB	56a	23.700	20.000	1.070	1.700	II	2	1	1	2
FB	57	19.900	18.300	0.910	1.200	II	4	3	3	1
FB	58	59.900	37.400	2.440	2.600	II	4	3	3	1
FB	59	18.300	16.600	0.760	1.700	II	2	1	1	2
FB	60	49.400	37.400	2.140	2.200	II	2	1	1	2
FB	61	44.600	37.100	1.980	2.500	II	2	1	1	2

FB	62	20.900	19.100	0.910	1.500	II	2	1	1	2
FB	63	37.000	28.400	1.680	2.400	II	2	1	1	2
FB	64	28.700	23.800	1.530	2.700	II	2	1	1	2
FB	65	27.200	22.000	1.370	2.500	II	2	1	1	2
FB	66	12.300	13.000	0.450	1.600	II	2	1	1	2
FB	67	20.900	19.100	0.910	1.600	II	1	1	1	2
FB	68	23.700	20.100	1.070	1.100	I	2	1	1	2
FB	69	26.500	21.500	1.220	2.400	II	1	1	1	2
FB	70	37.000	27.800	1.530	2.300	II	1	1	1	2
FB	71	30.400	24.700	1.530	1.700	II	2	1	1	2
FB	72	41.800	31.400	1.980	1.700	II	2	1	1	2
FB	72	15.000	15.000	0.610	1.000	II	4	3	3	1
FB	73	10.400	11.000	0.150	1.400	II	2	1	1	2
FB	73	18.000	15.800	0.760	1.700	II	2	1	1	2
FB	74	28.500	23.800	1.530	1.700	II	2	1	1	2
FB	75	17.000	15.600	0.760	1.300	II	2	1	1	2
FB	75	35.100	26.700	1.530	1.700	II	2	1	1	2
FB	78	34.200	15.800	1.530	1.000	II	1	1	1	2
FB	79	39.900	16.700	0.760	1.700	II	4	3	3	1
FB	80	39.900	16.700	0.760	1.700	II	4	3	3	1
FB	81	8.500	21.000	1.220	2.300	II	2	1	1	2
TL	1	32.900	28.500	1.840	2.200	III	1	1	1	2
TL	2	14.200	13.000	0.450	1.200	III	3	1	1	2
TL	3	26.200	22.800	1.530	1.400	II	2	1	1	2
TL	4	20.900	19.200	1.080	1.300	II	2	1	1	2
TL	5	10.600	10.000	0.150	1.000	II	2	1	1	2
TL	6	21.200	19.200	1.090	1.300	II	2	1	1	2
TL	7	19.000	18.300	0.920	1.700	I	1	1	1	2
TL	8	26.800	24.700	1.680	1.800	I	1	1	1	2
TL	9	16.100	15.000	0.450	1.600	I	1	1	1	2
TL	10	22.800	20.000	1.230	1.600	I	1	1	1	2
TL	11	16.100	15.800	0.450	1.500	II	1	1	1	2

TL	12	18.000	17.500	0.760	1.600	II	1	1	1	1	2
TL	13	14.300	13.000	0.450	1.300	I	1	1	1	1	2
TL	14	13.500	10.000	0.300	1.300	II	1	1	1	1	2
TL	15	13.800	12.000	0.450	1.300	II	1	1	1	1	2
TL	16	22.900	20.300	1.370	2.100	II	4	2	2	1	2
TL	17	15.100	14.000	0.450	1.400	II	4	2	2	1	2
TL	18	18.000	17.500	0.910	1.400	II	4	2	2	1	2
TL	19	14.100	12.000	0.450	1.500	II	4	2	2	1	2
TL	20	13.700	11.000	0.300	1.500	II	4	2	2	1	2
TL	21	17.100	16.700	0.610	1.500	II	4	2	2	1	2
TL	22	24.700	22.000	1.370	1.600	II	4	2	2	1	2
TL	23	17.100	16.700	0.450	1.300	II	4	2	2	1	2
TL	24	27.000	24.700	1.680	1.700	II	4	2	2	1	2
TL	25	17.000	15.800	0.450	1.600	II	4	2	2	1	2
TL	26	18.000	17.500	0.910	1.700	II	4	2	2	1	2
TL	27	25.400	22.000	1.530	0.900	II	4	2	2	1	2
TL	28	17.600	17.500	0.610	1.100	II	4	2	2	1	2
TL	29	16.000	14.000	0.450	1.200	II	4	2	2	1	2
TL	30	18.100	18.100	0.910	1.400	II	4	2	2	1	2
TL	31	18.500	18.300	0.910	1.300	II	4	2	2	1	2
TL	32	35.100	30.500	2.150	2.600	II	4	2	2	1	2
TL	33	25.000	22.000	1.530	1.800	II	4	2	2	1	2
TL	34	18.000	17.500	0.770	1.700	II	4	2	2	1	2
TL	35	19.000	18.300	0.920	1.700	II	4	2	2	1	2
TL	36	26.000	22.000	1.530	1.800	II	4	2	2	1	2
TL	37	36.100	31.400	2.150	2.000	II	4	2	2	1	2
TL	38	36.100	30.500	2.150	2.100	II	4	2	2	1	2
TL	39	17.200	17.500	0.610	1.600	I	1	1	1	1	1
TL	40	26.100	22.800	1.530	1.700	I	1	1	1	1	1
TL	41	20.900	19.200	1.070	1.700	I	1	1	1	1	1
TL	42	27.800	25.700	1.690	1.600	I	1	1	1	1	1
TL	43	27.500	25.000	1.680	2.000	I	1	1	1	1	1

TL	44	25.000	22.000	1.530	1.800	I	1	1	1	1
TL	45	21.300	20.000	1.230	1.800	I	1	1	1	1
TL	46	19.100	19.200	1.070	1.300	I	1	1	1	1
TL	47	19.000	18.300	0.920	1.400	I	1	1	1	1
TL	48	35.100	29.500	2.150	2.300	I	1	1	1	1
TL	49	36.500	31.400	2.300	2.100	I	2	1	1	1
TL	50	43.200	37.100	2.450	2.400	I	2	1	1	1
TL	51	41.800	33.300	2.300	2.300	II	1	1	1	1
TL	52	38.000	31.400	2.300	1.900	I	1	1	1	1
TL	53	19.000	19.100	1.070	1.300	I	1	1	1	1
TL	54	29.700	26.700	1.690	1.800	II	1	1	1	1
TL	55	27.900	25.700	1.690	1.800	I	2	1	1	1
TL	56	19.000	18.300	0.910	1.600	I	2	1	1	1
TL	57	31.300	28.500	1.840	1.700	I	2	1	1	1
TL	58	29.300	26.700	1.690	1.700	I	2	1	1	1
TL	59	22.800	20.000	1.370	1.400	I	2	1	1	1
TL	60	31.300	27.600	1.840	1.800	I	2	1	1	1
TL	61	30.500	27.600	1.840	1.900	I	1	1	1	1
TL	62	19.000	18.500	1.070	1.800	II	4	2	1	1
TL	63	26.700	23.800	1.600	1.900	I	1	1	1	1
TL	64	26.600	22.800	1.530	1.700	II	4	2	1	1
TL	65	14.500	13.000	0.450	1.700	II	4	2	1	1
TL	66	12.500	10.000	0.150	1.800	II	4	2	1	1
TL	67	24.400	21.000	1.370	1.700	II	4	2	1	1
TL	68	19.900	19.200	1.070	1.700	II	4	2	1	1
TL	69	17.100	17.500	0.610	1.500	II	4	2	1	1
TL	70	25.600	22.000	1.530	1.600	I	1	1	1	1
TL	71	28.700	26.700	1.690	2.200	I	1	1	1	1
TL	72	26.400	22.800	1.530	2.100	II	4	2	1	1
TL	73	30.400	27.600	1.840	2.400	II	4	2	1	1
TL	74	43.200	33.500	2.300	2.600	II	4	2	1	1
TL	75	43.700	38.100	2.750	2.100	II	2	1	1	2

TL	76	12.800	10.000	0.150	1.200	II	1	1	1	2
TL	77	21.200	19.300	1.220	1.800	II	4	2	1	2
TL	90	16.000	13.000	1.040	1.200	II	4	2	1	1
TL	91	15.100	11.000	0.970	1.400	II	4	2	1	1
TL	92	15.100	11.000	0.920	1.300	II	4	2	1	1
TL	93	9.100	9.100	1.080	0.800	II	4	2	1	1
TL	94	22.000	9.300	0.750	1.600	II	4	2	1	2
TL	95	21.400	9.400	0.850	1.600	II	4	2	1	2
TL	96	20.400	8.700	1.220	1.400	II	4	2	1	2
TL	97	13.500	12.100	1.180	1.400	II	4	2	1	2
TL	98	8.500	13.100	1.250	1.400	II	4	2	1	2
TL	99	8.500	10.500	1.250	1.500	II	4	2	1	2
TL	100	35.600	19.200	1.530	1.400	II	4	2	1	2
TL	101	21.000	15.000	0.760	1.200	II	4	2	1	2
TL	102	10.400	20.000	0.610	1.600	II	4	2	1	2
TL	103	14.000	14.000	0.720	1.300	II	4	2	1	2
TL	104	19.100	19.200	0.450	1.300	II	4	2	1	2
TL	105	13.500	9.700	0.870	1.200	II	4	2	1	2
TL	106	9.400	9.300	0.870	1.200	II	4	2	1	2
TL	107	5.600	12.000	1.010	1.300	II	4	2	1	2
TL	108	5.700	11.000	1.070	1.400	II	4	2	1	2
TL	109	5.900	15.000	1.020	1.700	III	4	2	1	1
TL	110	11.200	14.200	0.600	1.800	III	4	2	1	1
TL	111	13.200	9.500	0.820	1.400	II	4	2	1	2
TL	112	14.200	9.000	0.900	1.300	III	4	2	1	1
TL	113	10.300	12.200	0.970	1.500	III	4	2	1	1
TL	114	10.500	20.000	1.220	0.900	II	4	2	1	1
TV	1	26.500	17.500	0.760	1.300	I	2	1	1	2
TV	2	31.000	19.200	1.010	1.700	I	2	1	1	2
TV	3	46.300	31.000	1.560	1.400	I	2	1	1	2
TV	4	46.000	30.000	1.540	1.500	I	2	1	1	2
TV	5	31.300	19.200	1.020	1.600	I	2	1	1	2

TV	7	31.300	19.200	1.020	1.700	I	2	1	1	2
TV	8	30.000	18.300	0.970	1.800	I	2	1	1	2
TV	10	21.800	12.000	0.300	1.800	II	4	2	3	1
TV	11	47.400	34.300	1.980	2.900	II	4	2	3	1
TV	12	20.100	10.000	0.150	1.700	I	2	1	1	2
TV	13	27.000	17.500	0.760	1.300	I	2	1	1	2
TV	14	26.000	17.000	0.760	1.600	II	4	2	3	1
TV	15	27.000	18.000	0.800	2.400	I	2	1	1	2
TV	16	32.100	19.300	1.040	2.400	I	2	1	1	2
TV	17	46.300	31.000	1.680	2.000	II	4	2	3	1
TV	18	30.000	19.000	1.000	2.200	II	4	2	3	1
TV	19	25.200	15.800	0.610	2.000	II	4	2	3	1
TV	20	22.000	14.000	0.300	1.300	I	2	1	1	2
TV	21	26.000	15.800	0.760	1.500	I	2	1	1	2
TV	22	23.600	14.000	0.500	1.600	II	4	2	3	1
TV	23	27.400	18.000	0.900	1.700	II	4	2	3	1
TV	24	26.000	16.600	0.760	1.000	II	4	2	3	1
TV	25	27.800	18.000	0.970	1.200	II	2	1	1	2
TV	26	22.500	14.000	0.450	1.400	II	2	1	1	2
TV	27	36.300	21.000	1.070	1.200	II	4	2	3	1
TV	28	21.000	10.000	0.300	1.700	II	2	1	1	2
TV	29	45.600	26.700	1.530	1.200	II	2	1	1	2
TV	30	33.000	20.000	1.070	1.200	II	2	1	1	2
TV	31	31.000	19.200	1.010	1.400	II	2	1	1	2
TV	32	34.000	21.000	1.070	1.600	II	4	2	3	1
TV	33A	36.500	21.000	1.220	1.900	I	2	1	1	2
TV	33B	29.000	18.300	0.970	1.700	II	4	2	3	1
TV	33C	38.100	22.000	1.370	1.400	II	4	2	3	1
TV	34	36.000	21.000	1.070	1.400	I	2	1	1	2
TV	35	40.200	25.700	1.450	1.300	I	2	1	1	2
TV	36	24.000	15.000	0.610	1.200	I	2	1	1	2
TV	37	32.000	19.200	1.040	1.800	I	2	1	1	2

TV	38	41.000	26.000	1.530	1.700	II	4	2	3	1
TV	39	45.800	29.000	1.530	2.300	I	2	1	1	2
TV	40	15.200	15.000	1.200	1.400	I	2	1	1	2
TV	41	14.000	16.200	2.010	1.800	I	2	1	1	2
TV	42	13.000	16.200	1.250	1.700	I	2	1	1	2
TV	43	17.200	21.000	0.690	1.600	I	2	1	1	2
TV	44	14.300	20.000	0.690	1.700	I	2	1	1	2
TV	45	31.300	10.000	0.610	1.200	II	2	1	1	2
TV	46	26.200	33.000	2.210	1.900	II	2	1	1	2
TV	47	20.100	18.300	1.530	1.000	II	4	2	3	1
TV	48	15.400	19.000	0.600	1.300	II	4	2	3	1
TV	49	18.300	21.000	0.900	1.300	II	4	2	3	1
TV	50	24.200	18.000	1.020	1.400	II	4	2	3	1
TV	51	39.900	17.500	1.070	1.700	II	4	2	3	1
TV	52	25.000	23.000	0.800	1.400	II	4	2	3	1
TV	53	30.000	16.000	0.970	1.500	II	4	2	3	1
TV	54	16.000	16.000	1.040	1.500	II	4	2	3	1
TV	56	18.000	14.000	1.040	1.300	II	4	2	3	1
TV	58	39.900	25.000	1.370	1.800	I	2	1	1	2

CCS	No. Campo	Profundidad	Humificación	Erosión	Textura	Contenido gravas	Profundidad efectiva	Pen-diente	Rendimiento Histórico	Producción	Rendimiento potencial	Producción según RMP
FB	1	2	1	2	1	1	40.0	1	240.0	59.46	270.0	49.10
FB	2	2	2	4	1	5	30.0	3	240.0	28.16	270.0	36.21
FB	3	2	2	4	1	5	30.0	3	230.0	52.72	270.0	70.41
FB	4	2	2	4	1	5	30.0	3	240.0	29.73	270.0	53.71
FB	5	2	2	4	1	5	30.0	3	200.0	41.98	270.0	49.29
FB	6	2	2	3	1	4	35.0	3	200.0	30.25	270.0	28.16
FB	7	2	2	4	1	5	30.0	3	265.0	19.31	270.0	21.73
FB	8	2	2	2	1	1	40.0	1	235.0	8.27	270.0	9.64
FB	9	1	2	4	1	4	35.0	3	215.0	24.77	270.0	35.21
FB	9	1	2	4	1	4	35.0	3	300.0	28.37	270.0	35.59
FB	10	2	1	2	1	1	40.0	1	310.0	42.90	350.0	63.89
FB	11	2	2	4	1	5	30.0	3	325.0	103.35	350.0	76.45
FB	12	2	2	4	1	5	30.0	3	200.0	19.82	270.0	28.16
FB	13	2	2	3	1	4	35.0	3	255.0	50.35	270.0	53.31
FB	14	2	2	4	1	5	40.0	3	240.0	11.44	270.0	12.87
FB	16	2	2	1	1	3	50.0	2	220.0	26.15	270.0	28.16
FB	17	2	2	1	1	3	50.0	2	255.0	9.53	270.0	10.43
FB	18	2	1	2	1	3	56.0	2	260.0	42.02	270.0	48.28
FB	19	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	19.31	270.0	28.16
FB	20	2	2	3	1	4	32.0	3	260.0	55.44	270.0	62.36
FB	21	2	2	3	1	4	32.0	3	320.0	45.42	350.0	46.27
FB	22	2	2	3	1	4	32.0	3	240.0	54.61	270.0	80.47
FB	23	2	2	3	1	4	32.0	3	240.0	22.82	270.0	49.29
FB	24	2	2	3	1	4	32.0	3	205.0	36.24	270.0	51.50
FB	25	2	1	3	2	3	35.0	3	240.0	20.86	270.0	28.16
FB	26	2	2	3	1	4	32.0	3	210.0	11.17	270.0	15.08
FB	27	2	2	3	1	4	32.0	3	255.0	58.19	270.0	71.42

FB	28	2	2	3	1	4	32.0	3	235.0	25.93	270.0	29.17
FB	29	2	2	2	1	1	30.0	3	200.0	28.61	270.0	32.59
FB	30	2	2	2	1	1	30.0	3	200.0	54.32	270.0	21.12
FB	31	2	2	2	1	1	30.0	3	230.0	31.29	270.0	28.16
FB	32	2	2	2	1	1	30.0	3	300.0	25.95	270.0	32.59
FB	33	2	2	2	1	1	30.0	3	245.0	48.28	270.0	54.32
FB	34	2	2	4	1	4	29.0	4	210.0	25.04	270.0	28.16
FB	35	2	2	4	1	4	29.0	4	275.0	32.86	270.0	42.25
FB	36	2	2	1	1	3	50.0	2	230.0	26.60	270.0	36.51
FB	37	2	2	3	1	4	32.0	3	230.0	28.31	270.0	19.97
FB	38	2	2	3	1	4	32.0	3	205.0	89.19	270.0	76.45
FB	39	2	2	3	1	4	32.0	3	240.0	17.34	270.0	9.05
FB	40	2	2	3	1	4	32.0	3	285.0	23.74	270.0	21.73
FB	41	2	2	4	1	4	29.0	4	245.0	32.19	270.0	36.21
FB	42	2	2	4	1	4	29.0	4	250.0	12.66	270.0	17.10
FB	43	1	2	1	1	1	58.0	2	240.0	29.02	270.0	38.22
FB	44	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	28.31	270.0	38.22
FB	45	1	2	1	1	1	58.0	2	270.0	9.50	270.0	17.10
FB	46	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	7.64	270.0	12.87
FB	47	1	2	1	1	1	58.0	2	200.0	7.91	270.0	25.15
FB	48	1	2	1	1	1	58.0	2	240.0	10.57	270.0	17.30
FB	49	1	2	1	1	1	58.0	2	230.0	18.62	270.0	25.15
FB	50	1	2	1	1	1	58.0	2	255.0	16.09	270.0	21.73
FB	51	1	2	1	1	1	58.0	2	250.0	12.22	270.0	16.49
FB	52	1	2	1	1	1	58.0	2	295.0	8.58	270.0	12.87
FB	53	2	2	4	1	4	29.0	4	265.0	14.51	270.0	19.11
FB	54	2	2	2	1	1	30.0	3	240.0	6.87	270.0	9.05
FB	55	2	2	4	1	4	29.0	4	305.0	60.05	350.0	62.36
FB	56	2	2	2	1	1	30.0	3	240.0	26.60	270.0	28.16
FB	56a	2	2	2	1	1	30.0	3	240.0	26.60	270.0	28.16
FB	57	1	2	1	1	1	58.0	2	235.0	9.29	270.0	17.30
FB	58	1	2	1	1	1	58.0	2	365.0	13.41	350.0	15.09
FB	59	2	2	2	1	1	30.0	3	215.0	28.37	270.0	32.59

FB	60	2	2	2	1	30.0	3	345.0	24.19	350.0	30.38
FB	61	2	2	1	1	30.0	3	320.0	14.15	350.0	19.11
FB	62	2	2	1	4	32.0	3	240.0	7.63	270.0	12.87
FB	63	2	2	1	4	32.0	3	300.0	64.38	270.0	54.32
FB	64	2	2	1	4	32.0	3	260.0	54.76	270.0	63.89
FB	65	2	2	1	4	32.0	3	250.0	45.04	270.0	39.23
FB	66	2	2	1	4	32.0	3	200.0	26.97	270.0	36.41
FB	67	2	2	1	4	35.0	3	235.0	28.31	270.0	38.22
FB	68	2	2	1	4	32.0	3	240.0	22.13	270.0	41.20
FB	69	2	2	1	4	35.0	2	245.0	6.94	270.0	5.43
FB	70	2	2	1	4	35.0	2	300.0	7.15	350.0	8.04
FB	71	2	2	1	4	35.0	3	265.0	34.55	270.0	35.20
FB	72	2	2	1	4	35.0	3	315.0	27.57	350.0	29.77
FB	72	2	2	1	1	58.0	2	200.0	14.86	270.0	21.12
FB	73	2	2	1	4	35.0	3	200.0	84.50	270.0	114.07
FB	73	2	2	1	4	35.0	3	210.0	30.18	270.0	27.16
FB	74	2	2	1	4	35.0	3	260.0	29.14	270.0	27.16
FB	75	2	2	1	4	32.0	3	205.0	19.31	270.0	21.72
FB	75	2	2	1	3	45.0	2	290.0	545.33	270.0	727.31
FB	78	2	2	1	5	30.0	3	*	*	*	*
FB	79	1	2	1	1	58.0	2	*	*	*	*
FB	80	1	2	1	1	58.0	2	*	*	*	*
FB	81	2	2	1	4	28.0	3	*	*	*	*
TL	1	2	2	1	1	25.0	3	310	9.10	350.0	11.270
TL	2	2	2	1	1	40.0	4	200	15.60	170.0	20.520
TL	3	2	2	1	1	30.0	2	250	17.89	350.0	17.900
TL	4	2	2	1	1	30.0	2	240	21.60	270.0	22.130
TL	5	2	2	1	1	30.0	2	200	14.40	170.0	16.290
TL	6	2	2	1	1	30.0	2	240	14.40	270.0	16.290
TL	7	2	2	1	1	45.0	2	230	10.75	270.0	15.380
TL	8	2	2	1	1	45.0	2	275	24.80	350.0	26.080
TL	9	2	2	1	1	45.0	2	200	24.00	270.0	35.200
TL	10	2	2	1	1	45.0	2	240	18.50	270.0	16.170

TL	11	2	1	2	1	3	40.0	3	200	14.80	270.0	21.720
TL	12	2	1	2	1	3	40.0	3	215	32.00	270.0	43.450
TL	13	2	1	2	1	1	45.0	2	200	14.80	270.0	26.600
TL	14	2	1	2	1	3	40.0	3	200	10.06	270.0	27.160
TL	15	2	1	2	1	3	40.0	3	200	75.60	270.0	71.620
TL	16	2	1	2	1	1	60.0	2	240	33.60	270.0	43.460
TL	17	2	1	2	1	1	60.0	2	200	30.80	270.0	36.820
TL	18	2	1	2	1	1	60.0	2	220	25.97	270.0	34.200
TL	19	2	1	2	1	1	60.0	2	200	39.53	270.0	44.460
TL	20	2	1	2	1	1	60.0	2	200	6.41	270.0	8.650
TL	21	2	1	2	1	1	60.0	2	205	24.15	270.0	43.450
TL	22	2	1	2	1	1	60.0	2	240	22.06	270.0	29.770
TL	23	2	1	2	1	1	60.0	2	205	7.25	270.0	10.860
TL	24	2	1	2	1	1	60.0	2	280	26.40	350.0	29.770
TL	25	2	1	2	1	1	60.0	2	200	24.18	270.0	27.160
TL	26	2	1	2	1	1	60.0	2	220	24.18	270.0	27.160
TL	27	2	1	2	1	1	60.0	2	245	14.69	270.0	10.860
TL	28	2	1	2	1	1	60.0	2	215	10.07	270.0	15.080
TL	29	2	1	2	1	1	60.0	2	200	9.24	270.0	12.470
TL	30	2	1	2	1	1	60.0	2	220	13.90	270.0	18.310
TL	31	2	1	2	1	1	60.0	2	225	4.43	270.0	5.430
TL	32	2	1	2	1	1	60.0	2	330	12.08	350.0	16.290
TL	33	2	1	2	1	1	60.0	2	240	71.69	270.0	104.62
TL	34	2	1	2	1	1	60.0	2	220	9.99	270.0	13.470
TL	35	2	1	2	1	1	60.0	2	230	32.70	270.0	27.160
TL	36	2	1	2	1	1	60.0	2	250	16.09	350.0	21.720
TL	37	2	1	2	1	1	60.0	2	345	18.24	350.0	20.520
TL	38	2	1	2	1	1	60.0	2	330	10.06	350.0	27.160
TL	39	2	1	2	1	3	48.0	2	210	69.30	270.0	68.330
TL	40	2	1	2	1	3	48.0	2	250	33.19	350.0	42.250
TL	41	2	1	2	1	3	48.0	2	240	28.83	270.0	49.290
TL	42	2	1	2	1	4	48.0	2	290	24.14	350.0	35.210
TL	43	2	1	2	1	3	48.0	2	285	60.84	350.0	59.980

TL	44	2	1	2	1	3	48.0	2	240	48.28	270.0	56.330
TL	45	2	1	2	1	3	48.0	2	240	17.04	270.0	19.560
TL	46	2	1	2	1	3	48.0	2	240	16.81	270.0	24.510
TL	47	2	1	2	1	3	48.0	2	230	17.16	270.0	24.510
TL	48	2	1	2	1	3	48.0	2	325	30.98	350.0	40.160
TL	49	2	1	2	1	3	56.0	2	345	30.18	350.0	35.210
TL	50	2	1	2	1	3	56.0	2	370	24.14	350.0	35.210
TL	51	2	1	2	1	1	40.0	2	355	10.73	350.0	13.470
TL	52	2	1	2	1	3	48.0	2	355	31.38	350.0	42.250
TL	53	2	1	2	1	3	48.0	2	240	55.52	270.0	56.330
TL	54	2	1	3	1	3	40.0	2	300	25.05	350.0	32.990
TL	55	2	1	2	1	3	56.0	2	300	113.12	350.0	114.75
TL	56	2	1	2	1	3	56.0	2	230	188.02	270.0	158.56
TL	57	2	1	2	1	3	56.0	2	305	53.41	350.0	61.290
TL	58	2	1	2	1	3	56.0	2	300	29.00	350.0	35.200
TL	59	2	1	2	1	3	56.0	2	240	23.86	270.0	25.290
TL	60	2	1	2	1	3	56.0	2	305	20.66	350.0	21.910
TL	61	2	1	2	1	3	48.0	2	300	54.33	350.0	63.670
TL	62	2	2	1	3	1	60.0	1	235	74.07	270.0	99.990
TL	63	2	1	2	1	3	48.0	2	270	28.17	350.0	49.290
TL	64	2	2	1	3	1	60.0	1	260	30.99	350.0	38.020
TL	65	2	2	1	3	1	60.0	1	200	31.30	270.0	35.200
TL	66	2	2	1	3	1	60.0	1	200	9.99	270.0	13.470
TL	67	2	2	1	3	1	60.0	1	240	10.17	270.0	12.470
TL	68	2	2	1	3	1	60.0	1	240	12.08	270.0	16.290
TL	69	2	2	1	3	1	60.0	1	205	9.99	270.0	13.470
TL	70	2	1	2	1	3	48.0	2	245	60.36	270.0	70.400
TL	71	2	1	2	1	3	48.0	2	300	37.34	350.0	43.550
TL	72	2	2	1	3	1	60.0	1	260	14.01	350.0	18.910
TL	73	2	2	1	3	1	60.0	1	300	12.24	350.0	13.470
TL	74	2	2	1	3	1	60.0	1	365	5.97	350.0	8.040
TL	75	2	2	3	1	1	30.0	2	415	18.75	350.0	38.420
TL	76	2	2	2	1	3	35.0	2	200	13.08	270.0	31.600

TL	77	2	1	1	60.0	2	240	12.08	270.0	21.720
TL	90	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	91	2	3	3	60.0	1	*	*	*	*
TL	92	2	3	3	60.0	1	*	*	*	*
TL	93	2	3	3	60.0	1	*	*	*	*
TL	94	2	1	1	60.0	1	*	*	*	*
TL	95	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	96	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	97	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	98	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	99	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	100	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	101	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	102	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	103	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	104	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	105	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	106	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	107	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	108	2	1	1	60.0	2	*	*	*	*
TL	109	2	1	1	35.0	2	*	*	*	*
TL	110	2	1	1	35.0	1	*	*	*	*
TL	111	2	1	1	60.0	1	*	*	*	*
TL	112	2	1	1	35.0	2	*	*	*	*
TL	113	2	1	1	35.0	1	*	*	*	*
TL	114	2	1	1	35.0	1	*	*	*	*
TV	1	1	2	2	50.0	3	235	19.60	270.0	21.12
TV	2	1	1	3	40.0	1	270	114.27	350.0	112.66
TV	3	1	1	3	40.0	1	435	57.22	500.0	66.76
TV	4	1	1	3	40.0	1	420	-	500.0	62.00
TV	5	2	1	1	50.0	1	295	35.73	350.0	35.73
TV	7	2	1	1	50.0	1	270	30.68	350.0	35.20
TV	8	2	1	1	50.0	1	245	63.37	270.0	70.41

TV	10	1	2	1	1	1	1	50.0	1	205	22.17	270.0	24.94
TV	11	1	2	1	1	1	1	50.0	1	485	8.73	500.0	13.47
TV	12	1	2	2	1	1	1	50.0	3	200	11.69	270.0	11.21
TV	13	1	2	2	1	1	1	50.0	3	240	43.77	270.0	46.42
TV	14	1	2	1	1	1	1	50.0	1	230	17.51	270.0	18.91
TV	15	1	2	2	1	1	1	50.0	3	240	66.39	270.0	105.62
TV	16	2	2	1	1	1	1	50.0	1	305	-	350.0	31.00
TV	17	1	2	1	1	1	1	50.0	1	454	6.55	500.0	8.04
TV	18	1	2	1	1	1	1	50.0	1	250	18.40	270.0	16.30
TV	19	1	2	1	1	1	1	50.0	1	220	7.84	270.0	16.30
TV	20	1	2	2	1	1	1	50.0	3	206	11.62	270.0	10.43
TV	21	1	2	1	1	3	1	40.0	1	230	47.48	270.0	56.33
TV	22	1	2	1	1	1	1	50.0	1	215	19.67	270.0	22.13
TV	23	1	2	1	1	1	1	50.0	1	240	19.71	270.0	21.72
TV	24	1	2	1	1	1	1	50.0	1	230	20.62	270.0	27.16
TV	25	1	2	3	1	5	1	35.0	5	240	28.31	270.0	38.22
TV	26	1	2	3	1	5	1	35.0	5	210	49.76	270.0	63.97
TV	27	1	2	1	1	1	1	50.0	1	325	22.05	350.0	29.77
TV	28	1	2	3	1	5	1	35.0	5	200	30.40	270.0	34.20
TV	29	1	2	3	1	5	1	35.0	4	365	25.95	350.0	32.59
TV	30	1	2	3	1	5	1	35.0	5	305	43.04	350.0	43.85
TV	31	1	2	3	1	2	1	35.0	5	265	64.85	350.0	51.50
TV	32	1	2	1	1	1	1	50.0	1	305	29.13	350.0	34.20
TV	33A	1	1	2	1	4	1	40.0	2	330	67.80	350.0	87.89
TV	33B	1	2	1	1	1	1	50.0	1	245	29.35	350.0	40.74
TV	33C	1	2	1	1	1	1	50.0	1	340	29.35	270.0	40.64
TV	34	1	1	2	1	4	1	40.0	2	315	8.48	350.0	17.47
TV	35	1	1	2	1	4	1	40.0	2	350	24.54	350.0	28.16
TV	36	1	1	2	1	4	1	40.0	2	220	13.94	400.0	16.02
TV	37	1	1	2	1	4	1	40.0	2	300	24.14	350.0	35.20
TV	38	2	2	1	1	1	1	50.0	1	355	539.49	350.0	539.49
TV	39	1	1	2	1	4	1	40.0	2	390	681.00	270.0	750.00
TV	40	1	1	3	1	5	1	40.0	2	*	*	*	*

TV	41	1	1	2	1	4	40.0	2	*	*	*	*	*	*
TV	42	1	1	2	1	4	40.0	2	*	*	*	*	*	*
TV	43	1	1	2	1	4	40.0	2	*	*	*	*	*	*
TV	44	1	1	2	1	4	40.0	2	*	*	*	*	*	*
TV	45	1	2	3	1	5	35.0	5	*	*	*	*	*	*
TV	46	1	2	3	1	5	35.0	5	*	*	*	*	*	*
TV	47	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	48	2	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	49	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	50	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	51	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	52	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	53	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	54	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	56	1	2	1	1	1	50.0	1	*	*	*	*	*	*
TV	58	1	2	2	1	1	50.0	3	*	*	*	*	*	*
									350	1330.1	350.0	1330.1		

Simbología utilizada en la Tabla Anexo 01

TIPO	Código
Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado	1
Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado	2
Fersialítico Pardo Rojizo	3
Aluvial	4
Sub Tipo	
Típico	1
Poco diferenciado	2
Diferenciado	3
Material basal	
Materiales y corteza de meteorización ferralitizados o caolinizados	1
Materiales transportados arcillosos generalmente	2
Materiales aluviales y deluviales recientes	3
Materiales transportados carbonatados o no carbonatados	4
Saturación	
Saturado (>75%)	1
Medianamente desaturado (40-75%)	2
Profundidad	
Profundo (51-100 cm)	1
Medianamente Profundo (20-50 cm)	2
Humificación	
Medianamente humificado 2,0-4,0%	1
Poco humificado <2,0%	2
Erosión	
No erosionados	1
Poca (pérdida del horizonte "A" < 25%)	2
Mediana (pérdida del horizonte "A" entre el 25 y 75 %)	3

Fuerte (pérdida del horizonte "A" desde el 75% hasta 25% del "B")	4
Textura	
Loam arenoso	1
Loam arcilloso arenoso	2
Loam arcilloso	3
Contenido de gravas	
No gravilloso	1
Muy poca graviliosidad (< 2 %)	2
Poca graviliosidad (2-15 %)	3
Mediana graviliosidad (16-50 %)	4
Fuerte graviliosidad (51-90 %)	5
Pendiente	
Llano (0,5-1,0%)	1
Casi llano (1,1-2,0%)	2
Ligeramente ondulado (2,1 y 4 %)	3
Ondulado (4,1-8,0%)	4
Fuertemente ondulado (8,1-16,0 %)	5

Anexo 02

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 1)

Nonparametric Correlations (1)		Potasio total	Materia orgánica	Potasio	Suma de cationes de cambio	Calcio	Fósforo total	Rendimiento histórico
Spearman's rho	Potasio total	1.000	1.000					
	Materia orgánica	.980**	.936**					
	Potasio	.960**	.880**	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Suma de cationes de cambio	.861**	.861**	.803**	.961**	.710**	.958**	.788**
	Calcio	.846**	.843**	.949**	.695**	.777**	.689**	.694**
	Fósforo total	.883**	.843**	.972**	.776**	.945**	.637**	.623**
	Rendimiento histórico	.938**	.911**	.796**	.980**	.917**	.623**	.442**
	Capacidad de cambio catiónico	.858**	.881**	.744**	.957**	.710**	.623**	.442**
	Porcentaje de saturación de bases	.801**	.810**	.617**	.689**	.361**	.446**	.013
	Acidez del Suelo (pH)	.625**	.624**	.478**	.352**	.119	-.025	-.064
	Humedad higroscópica	.510**	.507**	.044	.109	.190**	-.108	.138
	Erosión	-.073	-.066	-.094	.182*	-.008	.146*	-.144*
	Profundidad efectiva	-.074	-.045	.139	-.010	-.228**	-.100	-.114
	Sub-Tipo de suelo	.125	.120	-.091	-.231**	-.047	-.099	-.151*
	Pendiente N	-.058	-.076	-.117	-.025	-.214**	-.103	-.264**
	Contenido de gravas	-.127	-.137	-.123	-.195**	-.342**	-.182*	-.201**
	Saturación	-.151*	-.186**	-.224**	-.176*	-.183*	-.166*	-.096
	Humificación	-.263**	-.302**	-.145*	.216**	.165*	-.226**	.210**
	Categoría agroproductiva	-.113	-.135	-.021	.475**	.258**	.124	.018
	Profundidad pedológica	.093	.147*	.210**	.203**	.179*	-.040	.136
	Magnesio	.276**	.288**	.025	-.082	-.037	.196**	.045
	Material basal	.080	.106	.119	-.082	-.105	.073	.197**
	Tipo de suelo	.027	.006	.053	.226**	.194**	.176*	
	Textura	.028	.009	.169*				
	Sodio	.144*	.156*					

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 3)

Nonparametric Correlations (3)											
Correlation											
Spearman's rho											
Potasio total	Corr										
Materia orgánica	Corr										
Potasio	Corr										
Suma de cationes de cambio	Corr										
Calcio	Corr										
Fósforo total	Corr										
Rendimiento histórico	Corr										
Capacidad de cambio catiónico	Corr										
Porcentaje de saturación de bases	Corr										
Acidez del Suelo (pH)	Corr										
Humedad higroscópica	Corr										
Erosión	Corr										
Profundidad efectiva	Corr										
Sub-Tipo de suelo	Corr										
Pendiente	Corr										
Contenido de gravas	Corr	1.000									
Saturación	Corr	-.371**	1.000								
Humificación	Corr	.531**	-.072	1.000							
Categoría agroproductiva	Corr	.210**	.438**	.462**	1.000						
Profundidad pedológica	Corr	.267**	.235**	.145*	.145*	1.000					
Magnesio	Corr	.172*	-.129	.204**	.204**	.025	1.000				
Material basal	Corr	-.167*	.114	-.009	-.009	-.068	.283**	1.000			
Tipo de suelo	Corr	.288**	-.276**	.499**	.499**	-.185**	.546**	.192**	1.000		
Textura	Corr	.088	.093	.280**	.280**	.034	-.204**	-.224**	-.110	1.000	
Sodio	Corr	.285**	-.158*	.276**	.276**	-.072	-.074	-.066	.001	-.022	1.000
	Corr	-.125	.086	.031	.031	-.066	.011				.194**

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Tabla 2.4 Matriz de correlación (Parte 4)

Nonparametric Correlations (4)		Material basal	Tipo de suelo	Textura	Sodio
Spearman's rho	Correlation				
	Potasio total				
	Materia orgánica				
	Potasio				
	Suma de cationes de cambio				
	Calcio				
	Fósforo total				
	Rendimiento histórico				
	Capacidad de cambio catiónico				
	Porcentaje de saturación de bases				
	Acidez del Suelo (pH)				
	Humedad higroscópica				
	Erosión				
	Profundidad efectiva				
	Sub-Tipo de suelo				
	Pendiente N				
	Contenido de gravas				
	Saturación				
	Humificación				
	Categoría agroproductiva				
	Profundidad pedológica				
	Magnesio				
	Material basal	1.000			
	Tipo de suelo	.110	1.000		
	Textura	-.050	.092	1.000	
	Sodio	.168*	.093	-.136	1.000

** Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

Anexo 03

Tabla con la composición del medio de cultivo.
Medio MS (Murashige and Skoog, 1962)

Sustancia	Conc. mg/L	Soln. Madre	Vol.	Alícuota
MACRO				
NH ₄ NO ₃	1650	66 g	1L	25 mL
KNO ₃	1900	76 g	1L	25 mL
MgSO ₄ ·7H ₂ O	370	14,8 g	1L	25 mL
KH ₂ PO ₄	170	6,8 g	1L	25 mL
MICRO				
H ₃ BO ₃	6,2	1,55 g	250 mL	1 mL
MnSO ₄ ·4H ₂ O	22,3	5,575 g	250 mL	1 mL
ZnSO ₄ ·4H ₂ O	8,6	2,15 g	250 mL	1 mL
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,25	0,0625 g	250 mL	1 mL
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,025	0,00625 g	250 mL	1 mL
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,025	0,00625 g	250 mL	1 mL
KI	0,83	0,083 g	100 mL	1 mL
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	22,0 g	100 mL	2 mL
Na ₂ EDTA	37,3	1,865 g	500 mL	10 mL
FeSO ₄ ·7H ₂ O	27,8	1,39 g	500mL	10 mL
Sustitutos				
MgSO ₄ (anhidro)	180,7			
CaCl ₂ (anhidro)	332,2			

Anexo 04

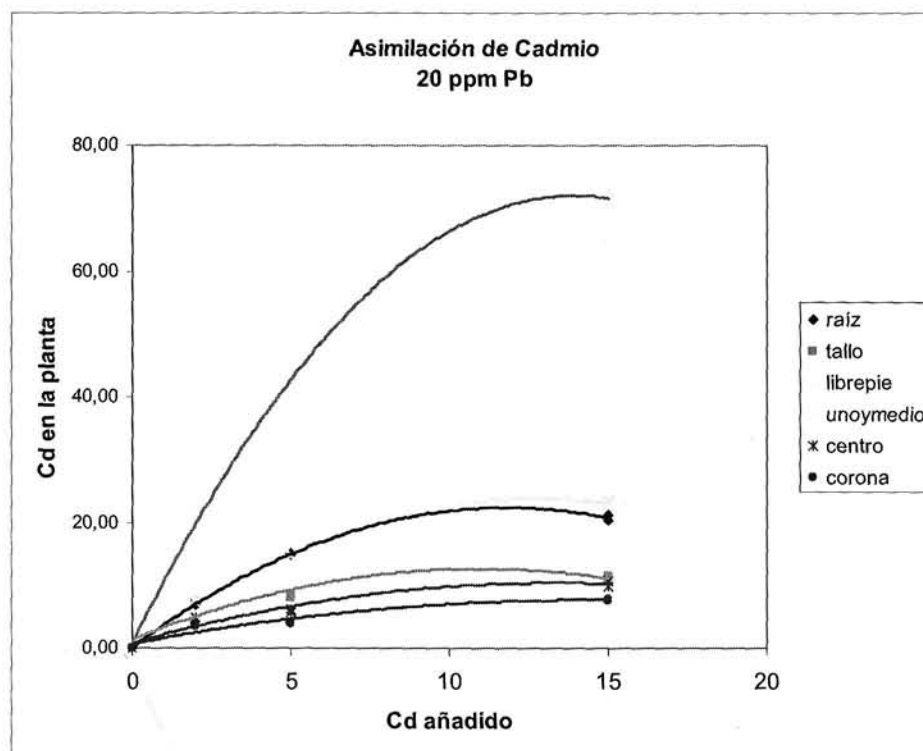


Figura 5.9b Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 20 ppm de Plomo en el sustrato

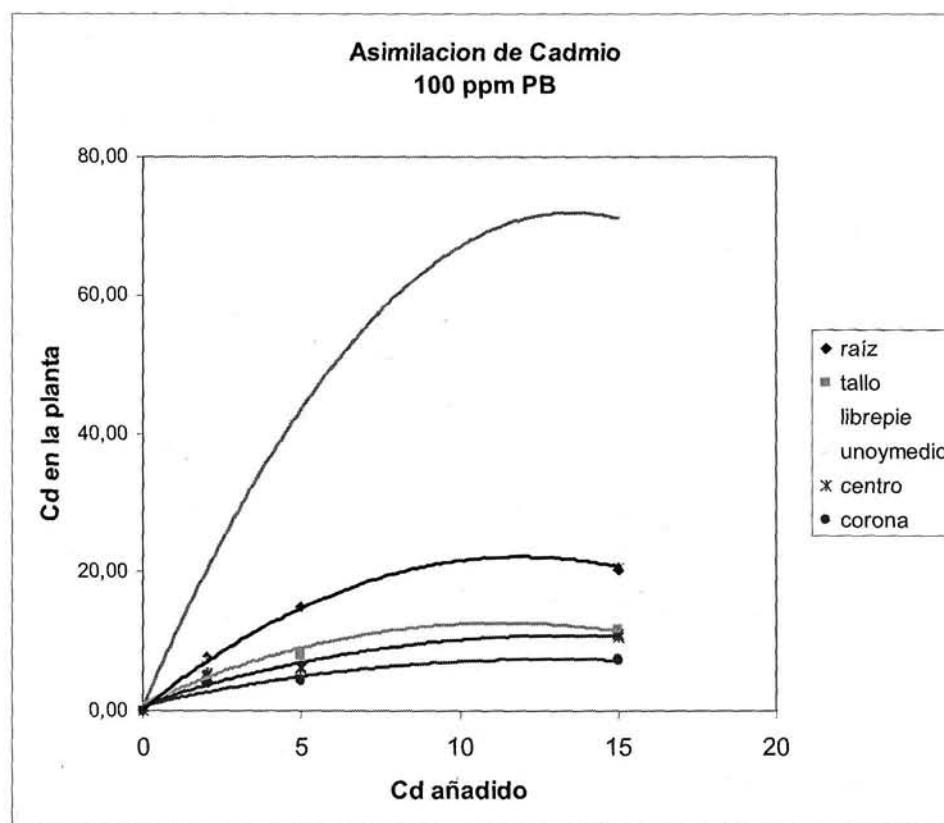


Figura 5.9c Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 100 ppm de Plomo en el sustrato

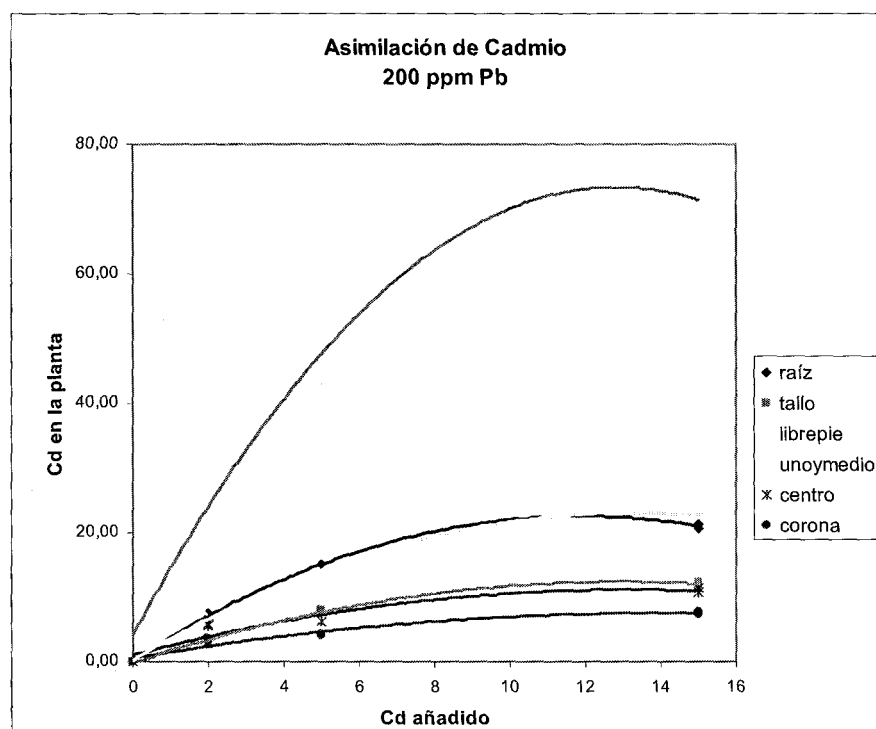


Figura 5.9d Asimilación de Cd por la planta de tabaco para 200 ppm de Plomo en el sustrato

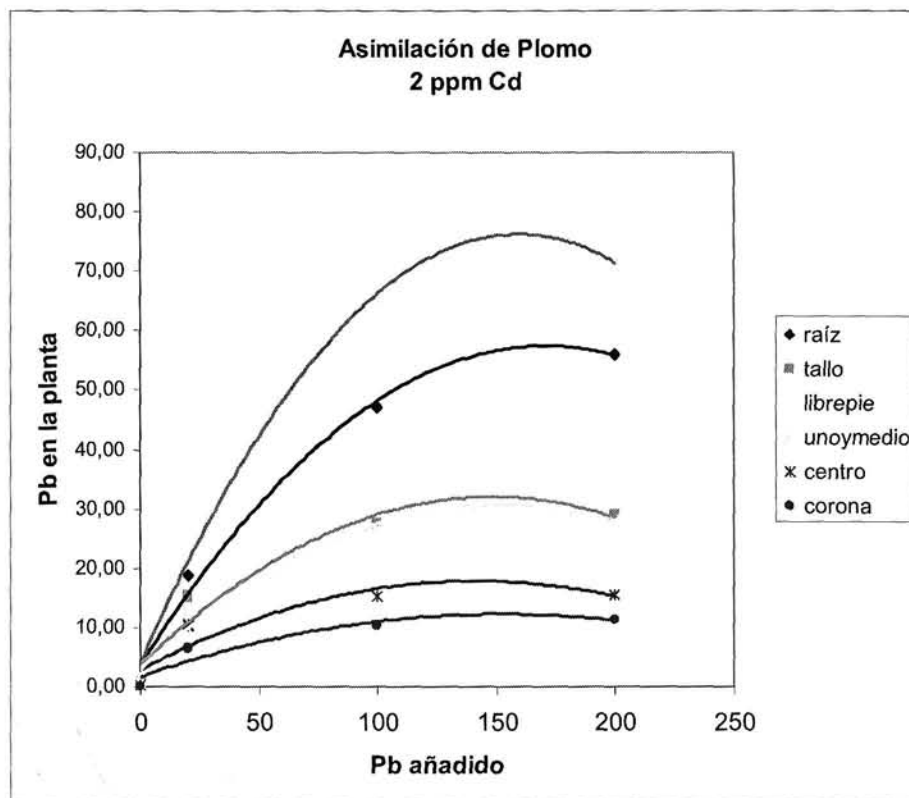


Figura 5.10b Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 2 ppm de Cadmio en el sustrato

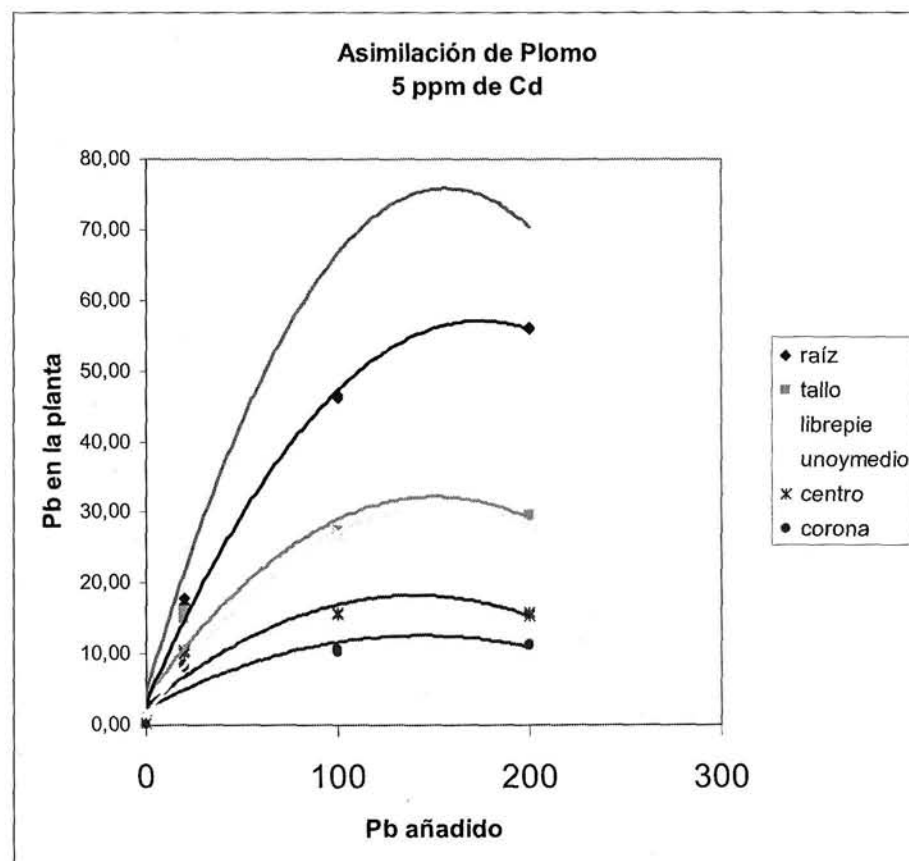


Figura 5.10c Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 5 ppm de Cadmio en el sustrato

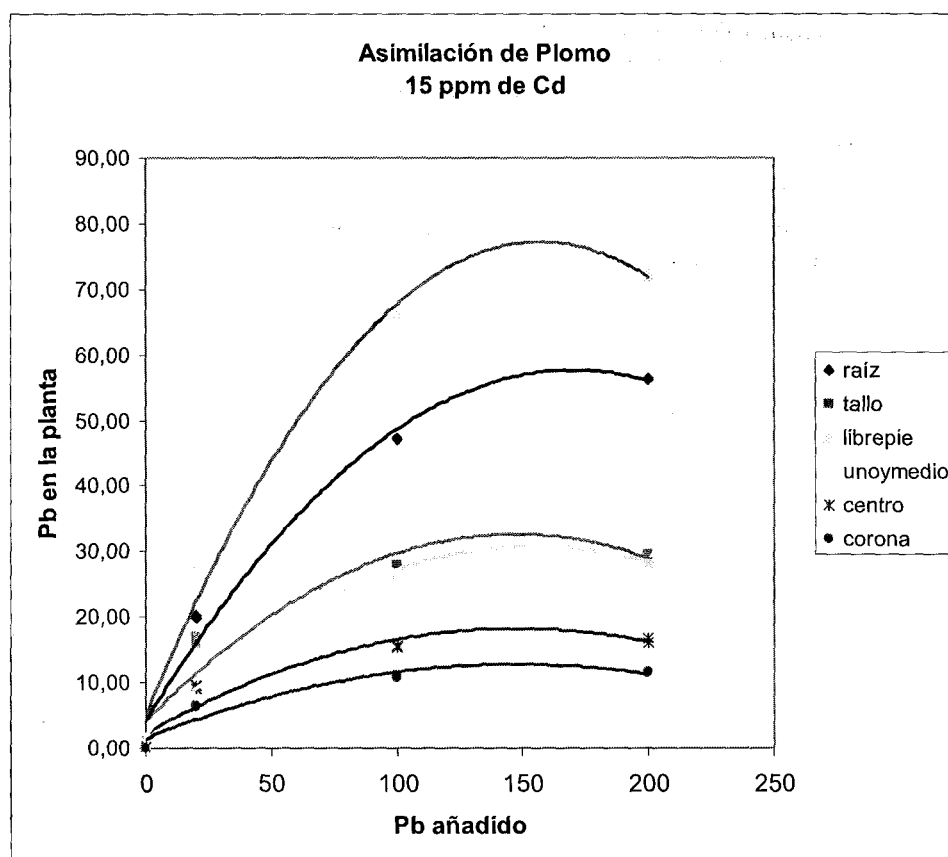


Figura 5.10d Asimilación de Pb por la planta de tabaco para 15 ppm de Cadmio en el sustrato